

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA
SEDE QUITO

CARRERA DE:
INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Titulación previo a la obtención del título de:
INGENIEROS MECÁNICOS

TEMA:
DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PRENSA MANUAL PARA ESPONJA
DE POLIESTIRENO DE UN ESPESOR 150 MM CON DIÁMETRO 30 Y 50
MM CON UNA CAPACIDAD DE 6 UNIDADES POR GOLPE PARA LA
CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA
SALESIANA.

AUTORES:
DAVID ANDRES ROVAYO ALMEIDA
KEVIN ESTEBAN VELASTEGUI QUILUMBA

TUTOR:
PATRICIO RENÉ QUITIAQUEZ SARSOZA

Quito, septiembre del 2020

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR

Nosotros, David Andrés Rovayo Almeida, portador de la Cédula de Identidad N° 1723540009 y Kevin Esteban Velastegui Quilumba, portador de la Cédula de Identidad N° 1728861802 manifestamos nuestra voluntad y cedemos a la Universidad Politécnica Salesiana la titularidad sobre los derechos patrimoniales en virtud de que somos autores del Trabajo de Titulación: “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PRENSA MANUAL PARA ESPONJA DE POLIESTIRENO DE UN ESPESOR 150 MM CON DIÁMETRO 30 Y 50 MM CON UNA CAPACIDAD DE 6 UNIDADES POR GOLPE PARA LA CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.”, mismo que ha sido desarrollado para optar por el título de Ingenieros Mecánicos, en la Universidad Politécnica Salesiana, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente.

En aplicación a lo determinado en la Ley de Propiedad Intelectual, en nuestra condición de autores nos reservamos los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia, suscribimos este documento en el momento que hacemos entrega del trabajo final en formato digital a la Biblioteca de la Universidad Politécnica Salesiana.

Quito, septiembre del 2020.



David Andrés Rovayo Almeida
C.I. 1723540009



Kevin Esteban Velastegui Quilumba
C.I. 1722861802

DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR

Yo declaro que bajo mi dirección y asesoría fue desarrollado el Trabajo de Titulación, “DISEÑO Y SIMULACIÓN DE UNA PRENSA MANUAL PARA ESPONJA DE POLIESTIRENO DE UN ESPESOR DE 150 MM CON DIÁMETRO 30 Y 50 MM CON UNA CAPACIDAD DE 6 UNIDADES POR GOLPE PARA LA CARRERA DE BIOTECNOLOGÍA DE LA UNIVERSIDAD POLITÉCNICA SALESIANA.” realizado por David Andrés Rovayo Almeida y Kevin Esteban Velastegui Quilumba, obteniendo un producto que cumple con todos los requisitos estipulados por la Universidad Politécnica Salesiana, para ser considerado como trabajo final de titulación.

Quito, septiembre del 2020.



Ing. René Patricio Quitiaquez Sarsoza

C.I. 171059726-9

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi familia, Verónica, Eric, Jonathan, Gonzalo, María Emilia, Cristian, quienes han hecho posible cada uno de los logros en mi vida; sin su apoyo, nada de esto hubiese sido posible. Un agradecimiento especial a la persona que con su amor y paciencia me ha hecho el hombre que soy, quien me enseñó a creer en mí, a darme mis formas para entender el mundo, mi Mami Pili; sin ella, simplemente, no lo hubiese logrado... ¡Este trabajo es tuyo, aquí quedará registrado que te quiero, que te extraño, que me haces falta!

¡Su hijo, sobrino, hermano, y nieto que los ama con todo su corazón!

David Andrés

Dedico este trabajo a mi toda mi familia quien es el pilar fundamental en todas las metas que me he propuesto cumplir por su amor, consejos y paciencia para lograr cumplir una meta más en mi vida.

A mis padres, por su cariño y compañía siempre y durante este proceso, por su esfuerzo y apoyo incondicional en los estudios, por enseñarme que la mejor escuela que uno puede tener en la vida son nuestras propias experiencias y por ayudarme con los recursos necesarios para estudiar y ser un profesional.

A mi hermano, por todos los momentos bonitos que pasamos siempre cuando nos reunimos... ¡Gracias por esas risas compartidas que solo nosotros entendemos el motivo!

Kevin Esteban

AGRADECIMIENTO

Agradecemos, principalmente, a Dios; a la educación salesiana que, en nuestro caso, ha sido pilar fundamental desde nuestra adolescencia, a los docentes que nos transmitieron sus conocimientos a lo largo de nuestra carrera universitaria, que hoy, con alegría y nostalgia llega a su fin.

Un agradecimiento especial al Ingeniero Patricio Quitiaquez, Msc. por la gran contribución y ayuda para que este Trabajo de Titulación haya sido posible.

David y Kevin

ÍNDICE DE CONTENIDO

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR.....	i
DECLARATORIA DE COAUTORÍA DEL DOCENTE TUTOR	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
ÍNDICE DE CONTENIDO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	xii
RESUMEN	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN	xvi
CAPÍTULO I	1
MARCO TEÓRICO.....	1
1. Generalidades.....	1
1.1 Propiedades de los materiales	1
1.1.1 Propiedades mecánicas	1
1.1.2 Propiedades físicas.....	2
1.1.3 Propiedades químicas.....	2
1.1.4 Propiedades tecnológicas	2
1.2 Polímeros	2
1.2.1 Clasificación de los polímeros	3
1.3 Poliestireno	3
1.4 Ventajas del poliestireno.....	4
1.5 Desventajas del poliestireno.....	4
1.6 Prensa.....	5
1.7 Tipos de prensas.....	5
1.7.1 Prensa mecánica.....	6
1.7.2 Prensa hidráulica.....	7

1.7.3 Prensa neumática	7
1.7.4 Prensa manual	8
1.8 Ventajas y desventajas de una prensa manual.....	9
1.8.1 Ventajas.....	9
1.8.2 Desventajas	9
1.9 Peligros generados en prensas.....	9
1.9.1 Peligros mecánicos.....	9
1.9.2 Peligros eléctricos	9
1.10 Opciones de corte de poliestireno.	10
1.10.1 Corte por medio de cuchillas en los extremos del tubo.	10
1.10.2 Corte por calentamiento al tubo por medio de niquelinas.....	11
1.10.3 Corte por hilo de nicrom bordando los extremos del tubo.....	11
1.11 Análisis de alternativas	12
1.12 Selección de la alternativa más viable	13
1.13 Velocidad de corte del hilo de nicrom	14
1.14 Partes principales de una prensa	14
1.15 Formulación de diseño	15
1.15.1 Esfuerzo simple.....	15
1.15.2 Carga total apoyada.....	15
1.15.3 Área total de corte	16
1.15.4 Área de un círculo	16
1.16 Columnas Cortas.....	16
1.17 Uniones soldadas	18
1.18 Uniones apernadas	20
1.19 Pernos bajo esfuerzo de cortante o cizallamiento	20
CAPÍTULO II.....	22
DISEÑO DE UNA PRENSA MANUAL DE CORTE DE POLIESTIRENO	22
2. Generalidades.....	22
2.1 Área de corte cilíndrico de la prensa.....	22

2.2 Diseño de la columna de la prensa.....	23
2.3 Dimensionamiento de la altura de la prensa	23
2.4 Selección de la columna de la prensa.....	24
2.5 Fuerza necesaria para el corte	30
2.6 Cálculo de la soldadura de la columna.....	30
2.7 Selección de pernos.....	37
2.8 Cálculos requeridos para la fabricación de las niquelinas tubulares y selección del cable.	39
2.9 Diseño de la placa base	41
2.10 Dimensionamiento de la palanca	42
CAPÍTULO III.....	47
SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	47
3. Generalidades.....	47
3.1 Dimensionamiento de la prensa	47
3.1.1 Medidas generales.....	47
3.1.2 Simulación del desplazamiento de la columna principal	48
3.2 Simulación de Corte por medio de cuchillas en los extremos del tubo.....	51
3.2.1 Modelo a simular	51
3.2.2 Propiedades de la esponja a simular.	51
3.3 Simulación de Corte por calentamiento al tubo por medio de niquelinas.....	57
3.3.1 Modelo a simular	57
3.4 Simulación de Corte por hilo de nicrom	60
3.4.1 Modelo a simular bordeando los extremos del tubo.	60
3.5 Costos aproximados de fabricación	63
3.5.1 Concepto básico de costos	64
3.5.2 Costos directos.....	64
3.5.3 Costos de materia prima.....	64
3.5.4 Costo de elementos normalizados.....	65
3.5.5 Costo de maquinaria utilizada.....	67

3.5.6 Costo de mano de obra.....	68
3.5.7 Total de costos directos.....	68
3.5.8 Costos indirectos.....	69
3.6 Costo total de la prensa.....	70
3.7 Proyección de ahorro anual.....	70
3.8 Valor Actual neto (VAN).....	71
3.9 Tasa interna de retorno (TIR).....	72
3.10 Índice de rentabilidad.....	72
3.11 Retorno de Inversión.....	73
CONCLUSIONES	74
RECOMENDACIONES.....	75
BIBLIOGRAFÍA	76
ANEXOS	
PLANOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Análisis de alternativas de corte.....	13
Tabla 2. Valores de articulación K	18
Tabla 3. Propiedades del material de aporte de electrodos.	19
Tabla 4. Propiedades de la columna-ángulo L1x1x1/8	26
Tabla 5. Fuerza admisible de la columna L2x2x1/8	27
Tabla 6. Propiedades de la columna UPN80	28
Tabla 7. Fuerza admisible de la columna UPN80.....	29
Tabla 8. Propiedades de las platinas ASTM A-36	45
Tabla 9. Costos detallados de la materia prima.....	65
Tabla 10. Costos detallados de elementos normalizados.....	66
Tabla 11. Costos detallados de la maquinaria utilizada en la fabricación.....	67
Tabla 12. Costos detallados de la mano de obra para la fabricación.	68
Tabla 13. Costos totales directos, detallados.	68
Tabla 14. Costos indirectos, detallados.....	69
Tabla 15. Costo total de la construcción de la prensa.	70
Tabla 16. Proyección de ahorro anual.....	70
Tabla 17. Criterios para proyectos VAN.....	71

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estructura del poliestireno	4
Figura 2. Prensa mecánica	6
Figura 3. Prensa hidráulica	7
Figura 4. Prensa neumática	8
Figura 5. Prensa manual	8
Figura 6. Cuchillas de Corte	10
Figura 7. Niquelinas tubulares	11
Figura 8. Hilo de Nicrom	12
Figura 9. Partes y Materiales.....	14
Figura 10. Vista superior de placa soporte de los cilindros de corte.	23
Figura 11. Diagrama de fuerza actuante sobre la columna.....	25
Figura 12. Diagrama de la soldadura en la columna.....	30
Figura 13. Diagrama del cuerpo libre de la columna.....	33
Figura 14. Diagrama de fuerza cortante V.....	34
Figura 15. Diagrama momento flector M	34
Figura 16. Diagrama de la palanca.	43
Figura 17. Diagrama del cuerpo libre de la palanca.	43
Figura 18. Diagrama esfuerzo cortante V de la palanca.	44
Figura 19. Diagrama momento flector M de la palanca.	44
Figura 20. Medidas Generales de la Prensa.	47
Figura 21. Simulación de desplazamiento con escala real.....	48
Figura 22. Simulación de desplazamiento con escala aumentada x 0.5, para visualizar mejor la deformación.....	49
Figura 23. Simulación de desplazamiento con escala real.....	49
Figura 24. Simulación de desplazamiento con escala aumentada a x 0.5.....	50
Figura 25. Modelo a simular.	51
Figura 26. Propiedades de la esponja y propiedades lineales usadas.....	52
Figura 27. Deformación de la esponja.	53
Figura 28. Deformación direccional de la esponja.	53
Figura 29. Deformación y esfuerzo de Von mises con aplanamiento de superficie de esponja.....	54
Figura 30. Esfuerzo en Mpa sobre esponja de poliestireno durante el corte.	55

Figura 31. Deformación unitaria mm/mm.	56
Figura 32. Aumento de temperatura en el material debido al impacto del tubo de corte.....	56
Figura 33. Modelo a simular, niquelinas.....	57
Figura 34. Contacto con las niquelinas sin encender.	58
Figura 35. Contacto con las niquelinas calientes, con el tubo para realizar el calentamiento del tubo.	59
Figura 36. Modelo a simular, con hilo de nicrom caliente, en el extremo del tubo. 60	
Figura 37. Corte realizado con el hilo de nicrom en la esponja de poliestireno.	61
Figura 38. Deformación mínima al contacto con el tubo al realizar el corte con el hilo de nicrom.	62
Figura 39. Resultado final, corte limpio del cilindro.	63

GLOSARIO DE TÉRMINOS

Prensa: Máquina utilizada en la industria para diferentes operaciones en las que tenga que intervenir una fuerza de manera controlada.

Presión: “cantidad de fuerza que se ejerce sobre una unidad de área de una sustancia o una superficie” [1].

Fuerza: Cualquier acción capaz de modificar el estado natural o de reposo de un cuerpo [2].

Inercia: Resistencia que ofrece un cuerpo al cambio de estado que una fuerza propone sobre él [1].

Cizallamiento: Presión ejercida o fuerza aplicada sobre una superficie de un material que a medida esta aumenta las capas se deslizan en planos opuestos, pero paralelos [3].

Densidad: Es el cociente entre masa de un material y el volumen que ocupa esta masa en el espacio [4].

Monómero: Pequeñas moléculas que se combinan entre sí mediante un proceso químico, formando una estructura de constitución repetitiva [5].

Polímero: Elemento producido natural o sintéticamente, conformado por la unión eslabonada de cadenas de monómeros [4].

Poliestireno: Polímero muy versátil usado en la manufactura de una amplia gama de productos de consumo masivo. Como un polímero duro, sólido, y de gran ligereza es usado generalmente en productos que requieren claridad, aislamiento y protección, tal como empaquetado alimenticio, elementos frágiles, elementos de laboratorio, entre otros [6].

Colabilidad: Propiedad de los materiales, especialmente ferrosos y polímeros, relacionado con la fluidez o viscosidad que adquiere dicho material una vez alcanzado su punto de fusión [7].

Soldabilidad: Proceso por el cual dos o más piezas ferrosas, especialmente aceros, son unidos mediante la aplicación de fricción, presión, o calor, con el aporte de otro metal o sin él, llamado metal de aportación, el cual tiene una temperatura de fusión por debajo de los metales a unir, pero posee una resistencia igual o mayor [7].

Dureza: Propiedad exclusiva de los materiales sólidos, que tiene relación con la resistencia a ser deformados o corroídos. También definido como la resistencia a la penetración por un agente externo del material en cuestión [7].

Nicrom: También llamado nicromo, es una aleación de níquel al 80% y cromo al 20 %, elemento utilizado para transferir calor a procesos que estos lo requieran, tiene una gran resistencia a la corrosión y a la temperatura, con un punto de fusión que supera los 1400 °C [8].

RESUMEN

El presente proyecto consiste en diseñar y simular una prensa manual de corte de poliestireno de un espesor 150 mm con diámetro 30 y 50 mm con una capacidad de 6 unidades por golpe, mediante una selección adecuada de materiales y elementos que la conformen. Con una breve explicación y entendimiento de los tipos de prensa que existen en la industria se llega a una selección viable de una de estas opciones, así como la alternativa más óptima para un corte limpio de la esponja de poliestireno que se las detallara a lo largo del presente trabajo.

Con la consideración de fórmulas, cálculos y diagramas requeridos para el diseño de los elementos sometidos a esfuerzos se llegará a una selección y dimensionamiento de los materiales a usar.

Posteriormente dichos cálculos serán validados con la ayuda de los softwares CAD-CAE como Autodesk Inventor 2017 y Ansys Workbench 2019 R3, observando el funcionamiento de la máquina con todas las alternativas posibles de corte las cuales se aproximarán a la realidad y permitirá un análisis más meticuloso de posibles fallos e interrupciones en el funcionamiento.

Además, se analizará los posibles costos directos e indirectos que se pueden generar para una fabricación de dicha máquina en un futuro, dicho análisis se lo realizó mediante consultas e investigaciones de costos del mercado ecuatoriano.

Palabras claves: diseño, prensa, poliestireno, simulación.

ABSTRACT

The present project consists of designing and simulating a manual polystyrene cutting press with a thickness of 150 mm with a diameter of 30 and 50 mm with a capacity of 6 units per blow, by means of an adequate selection of materials and elements that make it up. With a brief explanation and understanding of the tooth press types that exist in the industry, a viable selection of one of these options is reached, as well as the most optimal alternative for a clean cut of the polystyrene sponge that will be detailed in detail. throughout this work.

With the consideration of formulas, calculations and diagrams required for the design of the elements subjected to efforts, a selection and dimensioning of the materials to be used will be reached.

Later these calculations will be validated with the help of CAD-CAE Autodesk Inventor 2017 and Ansys Workbench 2019 R3 software, observing the operation of the machine with all possible cutting alternatives which will come closer to reality and will allow a more meticulous analysis of possible malfunctions and interruptions in operation.

In addition, the possible direct and indirect costs that may be generated for a possible manufacture of said machine in the future will be analyzed, this analysis was carried out through consultations and cost investigations of the Ecuadorian market.

Keywords: design, press, polystyrene, simulation.

INTRODUCCIÓN

La investigación se encuentra en proceso de desarrollo en el Ecuador, según diferentes medios, el país se encuentra con un retraso de 20 años en materia de investigación y aportes a la tecnología, una de las barreras más grandes para el progreso de las investigaciones es la falta de herramientas, maquinaria e instrumentos, lo cual genera una problemática ya que en el país existen profesionales altamente capacitados, internacionalmente, e los cuales tienen la capacidad de dar aportes al mundo de ciencia y tecnología.

De las pocas publicaciones existentes en el país, anualmente el área de bioquímica, genética y biotecnología solo aporta con el 13 % de estas, en un ámbito en donde la innovación requiere actualizaciones necesarias y constantes por el hecho de problemas ambientales, enfermedades, mutaciones genéticas, entre otras.

El diseño y simulación de una prensa manual para esponja de poliestireno tiene como objetivo principal aportar a la investigación en el área de biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana, con la optimización de tiempos para la obtención de probetas de poliestireno; además de una gran calidad y terminado de corte en las mismas.

Por medio de este proyecto se puede demostrar todas las habilidades adquiridas por los estudiantes a lo largo de su carrera universitaria, así como el dominio de conceptos y criterios para el diseño de diferentes mecanismos que involucran a la ingeniería mecánica.

Dichas habilidades se pondrán en práctica en el diseño y simulación de una prensa manual de poliestireno como solución para el área de investigación de la Carrera de Biotecnología para optimizar el tiempo en sus investigaciones previas mediante el uso de la espuma de poliestireno en sus laboratorios.

El corte de poliestireno se lo realiza mediante cortadoras CNC o prensas hidráulicas, en cualquiera de los dos casos se incurre en costos de construcción altos, por este motivo, este trabajo podrá mostrar la viabilidad de construcción de una prensa manual

de poliestireno, que tiene costos de fabricación inferiores que las opciones antes mostradas, mediante una simulación de corte.

El objetivo general consiste en diseñar y simular una prensa manual para esponja de poliestireno de un espesor 150 mm con diámetro 30 y 50 mm con una capacidad de 6 unidades por golpe para la Carrera de Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana.

Los objetivos específicos son:

- Identificar un modelo de prensa manual idónea, que cumpla con el corte en esponja de poliestireno de medidas requeridas.
- Diseñar los elementos y componentes en función de los cálculos basados en las fuerzas generadas sobre la prensa.
- Validar el diseño obtenido mediante simulación del mecanismo y corte en un software CAD/CAE.
- Evaluar la eficiencia del proceso de corte obtenido mediante simulaciones del equipo.
- Establecer indicadores financieros de desempeño y rentabilidad del proyecto.

CAPÍTULO I

MARCO TEÓRICO

1. Generalidades

En el presente capítulo se analizan conceptos básicos sobre el tema, tomando como referencia aspectos técnicos para el diseño de una prensa de corte de poliestireno, así como propiedades del mismo que pueden influenciar al momento de una selección de materiales.

Se toma en cuenta aspectos económicos y de funcionalidad dando una ponderación clave para una correcta selección del tipo de prensa a simular.

1.1 Propiedades de los materiales

1.1.1 Propiedades mecánicas

“Son propiedades inherentes a un material relacionadas con la reacción del mismo en el momento en que es aplicada una fuerza. Describen la forma en que el material soporta las fuerzas aplicadas, incluyendo fuerzas de tracción, compresión, flexión, torsión, cizalladura, impacto, variables o no, y tanto a alta como a baja temperatura” [4].

1.1.2.1 Tracción

La resistencia a la tracción es una propiedad de los materiales, la cual es la oposición de los mismos a ser deformados por fuerzas que actúan en el mismo eje de acción, pero en sentido opuesto [4].

1.1.2.2 Compresión

La resistencia a la compresión es una propiedad de los materiales, la cual es la resistencia a ser deformados por fuerzas que actúan sobre el mismo eje de acción, pero con sentido interno hacia el cuerpo o sólido, con intenciones de reducir su tamaño [4].

1.1.2.3 Flexión

Es la capacidad de un sólido a doblarse o curvarse en cualquiera de los tres ejes con la aplicación de una fuerza sobre el mismo, dependiendo de la fuerza aplicada, la

longitud, y el área de la sección transversal del sólido, este puede quedar deformado o regresar a su posición inicial [2].

1.1.2 Propiedades físicas

“Las propiedades físicas pueden clasificarse en: eléctricas, magnéticas, térmicas y ópticas, dependiendo del tipo de perturbación que se genere al material. Describen algunas características claves para cálculos ingenieriles, tales como el color, índice de refracción, densidad, conductividad eléctrica o térmica, capacidad calorífica, peso específico, punto de fusión, magnetismo, entre otras” [4].

1.1.3 Propiedades químicas

Las propiedades químicas se relacionan al comportamiento molecular de los materiales durante una reacción química, pueda ser esta en cualquier momento de la existencia del material. Como ejemplo se tiene la reacción a corrosión por parte de los materiales metálicos, o la estabilidad ambiental y la durabilidad de los polímeros [4].

1.1.4 Propiedades tecnológicas

Son características o propiedades inmersamente relacionadas con el comportamiento de los materiales durante un proceso de conformado o manufactura estas se pueden dividir en la ductilidad, maleabilidad, proceso de soldadura, dureza, proceso de maniobra del operario [4].

1.2 Polímeros

Los polímeros desde su descubrimiento, por su versatilidad, su uso ha sido creciente con el pasar de los años. Poseen una estructura muy simple de monómeros unidos en una cadena eslabonada.

La reacción química de formación del polímero se llama polimerización y el número de monómeros unidos en forma de cadena es el grado de polimerización [4].

En este proceso se produce una reacción química de miles de monómeros que pasan a formar parte de una larga cadena macromolecular [9].

1.2.1 Clasificación de los polímeros

Los polímeros son clasificados mediante diferentes criterios, los cuales se han expandido a lo largo de los años por descubrimientos nuevos acerca de los mismos.

Se los puede clasificar por:

Su origen: clasificados por el método de creación de los polímeros, estos pueden ser naturales o sintéticos, entre los naturales se encuentran aquellos que forman parte de la naturaleza o en los cuales no ha tenido intervención humana en su fabricación, como el caucho natural. Por otro lado, los sintéticos, en su totalidad son manufacturados por humanos, son los más usados por su versatilidad, entre ellos se encuentra el poliestireno y poliuretano [9].

Por la estructura de su cadena: basados en el grado de polimerización que tiene cada polímero, se habla del grado de su cadena, entre las cuales se encuentran los de cadena lineal, cadena ramificada, homopolímeros, y los copolímeros [9].

Por su respuesta termo mecánica: esta clasificación es de gran importancia en la industria, ya que los clasifica según el comportamiento de su estructura a la exposición de altas temperaturas, se clasifican en termoplásticos, aquellos que las temperaturas altas no afectan su funcionalidad. Termorígidos, aquellos que la exposición a altas temperaturas degrada el polímero. Y los elastómeros, también llamados hules, son aquellos que pueden deformarse hasta un 1000% sin afectar a su estructura [9].

1.3 Poliestireno

El poliestireno es un material altamente usado en la industria de envasado, embalaje, y alimenticio debido principalmente a sus muy buenas propiedades para la protección contra impactos y de aislamiento térmico, así como su bajo peso y facilidad de manufactura, lo que le permite adaptarse a formas, necesidades, y exigencias de la industria. Los productos de poliestireno poseen un ciclo de vida relativamente corto a comparación de otros materiales [10].

Se define al poliestireno como un termoplástico, el cual está formado por una cadena polimérica lineal de 1900 a 2900 unidades de estireno, por lo tanto, es un polímero vinílico que surge de la polimerización de un monómero de estireno por radicales libres [11].

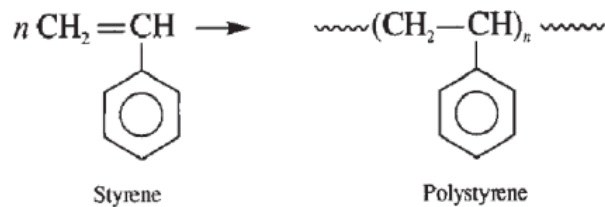


Figura 1. Estructura del poliestireno [11]

El poliestireno es un termoplástico, diáfano, transparente, fácilmente coloreable y fácil de fabricar con cualidades ideales para la industria. Posee propiedades mecánicas y térmicas razonablemente buenas para su coste, pero es ligeramente frágil y se reblandece a menos de 100°C , lo que no lo hace un polímero para trabajos en caliente, ya que el poliestireno se deforma y degrada con facilidad a la exposición de la temperatura [12].

1.4 Ventajas del poliestireno

- Tiene un bajo coste por unidad de masa
- Es liviano y muy versátil
- Mantiene propiedades aislantes excelentes
- Provee de propiedades anti impacto o protectoras a otros elementos
- Fácil de producir

1.5 Desventajas del poliestireno

- Se degrada a temperaturas relativamente bajas ($< 100^\circ\text{C}$)
- Es desechable y muy contaminante
- No se puede reciclar
- Es peligrosamente inflamable
- Es tóxico

1.6 Prensa

Máquina muy usada dentro de varias operaciones de manufactura industriales, depende mucho de las propiedades de los componentes de los que la misma está constituida para realizar dichos trabajos.

Está constituida por diferentes partes mecánicas como el bastidor que sostiene una bancada y un ariete, también posee una fuente de potencia la cual alimenta al mecanismo para mover el ariete linealmente y, si se da la necesidad, en ángulos rectos con relación a la bancada [13].

Una prensa solo proporciona una fuerza necesaria que es transmitida a unas matrices y punzones, los cuales deben estar diseñados para cumplir ciertas operaciones como formado, doblado, punzonado, embutido y cizallado, con la forma final que se requiera, estas operaciones se pueden realizar en cualquier tipo de prensa con la matricería adecuada [13].

Las prensas tienen la capacidad de otorgar una mejor y eficiente producción para la industria, ya que únicamente necesita de un operario para introducir y retirar el material, acortando los tiempos de manufactura, el tiempo empleado por la máquina es muy corto debido a que solo necesita recorrer la longitud del eje deslizable o ariete y el tiempo que se demora en alimentar de material a la prensa para proceder con el siguiente trabajo [14].

La acción de prensado se lleva a cabo por medio de una palanca, una excéntrica, un cilindro hidráulico o neumático que impulsa un punzón a presión contra el material laminado. El punzón puede ser macizo o hueco, afilado o sin filo y de formas variadas según sea la necesidad del fabricante [15].

1.7 Tipos de prensas

Las prensas se clasifican por la función y la fuerza que se requiera dependiendo del material que se va a trabajar, entre los siguientes tipos se tiene:

1.7.1 Prensa mecánica

Trabajan en su mayoría con una manivela o excéntrica. Su velocidad puede variar desde un máximo en el punto medio de su carrera, hasta cero en su posición final, por esto, se encuentran debidamente limitadas.

En una prensa mecánica la energía necesaria es generada con un gran volante acoplado a un motor eléctrico mediante un embrague. “Una biela transforma el movimiento circular reciprocante en movimiento lineal alternativo” [16].

Debido al diseño de eslabonamiento, y dependiendo de la potencia del motor, se pueden aplicar fuerzas muy grandes.

La fuerza disponible en dicha máquina depende del punto de la carrera en la que el émbolo se encuentre; siendo la máxima fuerza disponible en el punto muerto inferior.

Por eso, es necesario un previo estudio y mantenimiento constante, para evitar daños en el equipo y los dados. Las prensas mecánicas son equipos muy eficientes, tienen la capacidad de generar una producción rápida y en masa, son versátiles, son fáciles de automatizar y requieren menor cantidad de operadores para su funcionamiento [16].



Figura 2. Prensa mecánica [16]

1.7.2 Prensa hidráulica

Poseen un funcionamiento a fuerza y velocidad constante, mayormente limitadas o restringidas por la carga. En otras palabras, el funcionamiento se interrumpe si la carga necesaria es mayor que la capacidad.

Se transfieren grandes cantidades de energía a la pieza, por medio de una carga y velocidad constante durante todo el recorrido. Las prensas hidráulicas tienen un valor de adquisición más elevado y disponen de menor velocidad que las prensas mecánicas, pero requieren un mantenimiento menor [16].



Figura 3. Prensa hidráulica [17]

1.7.3 Prensa neumática

Su funcionamiento es a base de aire presurizado. El aire presurizado es enviado por medio de las mangueras hacia la cavidad posterior del cilindro neumático lo que genera que el émbolo de la prensa se desplace hacia abajo. Una vez que el recorrido de la prensa haya concluido, el aire se evacúa a través de válvulas, y mediante resortes mecánicos internos, el embolo regresa a su posición inicial [18].



Figura 4. Prensa neumática [19]

1.7.4 Prensa manual

Son de tamaño pequeño y fuerza limitada, ya que la fuerza de prensado es transmitida manualmente por un operador mediante una palanca, haciéndola en usos limitados como troquelado, punzonado, doblado de piezas mecánicas o plásticas que no tengan mucho espesor o dureza.



Figura 5. Prensa manual [20]

Para este proyecto se escogió la prensa manual por su bajo costo de construcción, mantenimiento, y facilidad de operación, ya que este tipo de prensa no es usada en la

industria para el corte de poliestireno por su baja fuerza, se debe compensar dicha falta de fuerza con algún otro factor que ayude al corte del mismo, los cuales se detallarán más adelante.

1.8 Ventajas y desventajas de una prensa manual

1.8.1 Ventajas

- Fácil operación
- Construcción económica
- Fácil mantenimiento
- Es de manipulación segura

1.8.2 Desventajas

- Poca fuerza de prensado
- Esfuerzo físico por parte del operador
- Tamaño pequeño
- Tiene una producción limitada

1.9 Peligros generados en prensas

Existen dos clases de peligros, los cuales se clasifican de la siguiente manera:

1.9.1 Peligros mecánicos

- Cizallamiento.
- Corte con cuchillas o punzones.
- Enganches de la ropa o herramientas.
- Atrapamiento de extremidades.
- Pérdida de audición por ruidos generados.

Dichos peligros pueden ser generados por las partes móviles de la prensa en el accionamiento del corte o por el mal uso de la maquinaria [21].

1.9.2 Peligros eléctricos

- Contactos directos, indirectos y arco eléctrico.
- Peligros térmicos dando lugar a quemaduras en extremidades.

Las prensas mecánicas están consideradas como máquinas peligrosas, por eso se deben respetar las instrucciones del fabricante en cuanto al manual de uso y mantenimiento; además tener en cuenta todas las precauciones para trabajo en máquinas-herramientas y el uso de equipos de protección personal [21].

1.10 Opciones de corte de poliestireno.

La esponja de poliestireno se la puede cortar de diferentes maneras que se las detalla a continuación.

1.10.1 Corte por medio de cuchillas en los extremos del tubo.

a. Cuchillas de corte: disponen de dientes de corte en uno de sus lados, estos al generar movimiento remueven material dependiendo de la profundidad y fuerza con que se genere el corte. Estas hojas se utilizan normalmente con polímeros tipo espuma densa (poliuretano o polietileno) [22].

b. Hojas de corte: Generan un corte limpio y con muy poca remoción del material. Principalmente cortan diferentes clases de espuma o materiales menos densos como el poliuretano [22].

Esta es una alternativa viable para corte cuando se tienen espumas de poliuretano con un espesor de 5 centímetros a 2 pulgadas, espesores superiores deformarían la hoja y no se conseguiría el corte deseado [23].

El problema que se obtiene al usar este tipo de alternativa de corte es el espesor de la esponja a cortarse.

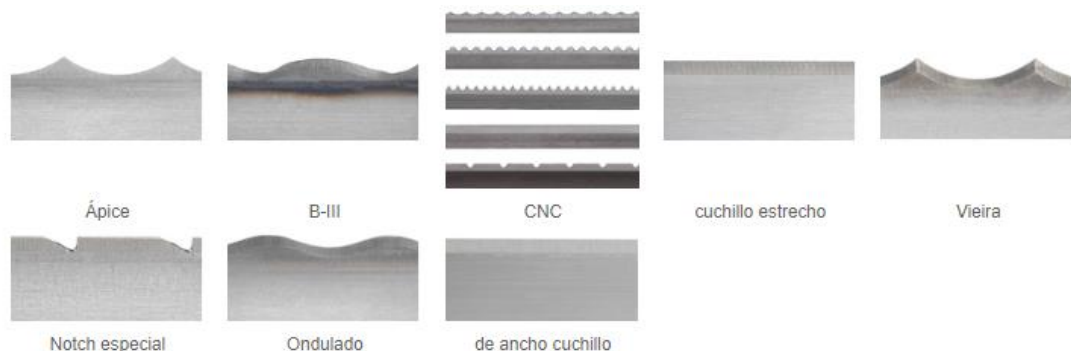


Figura 6. Cuchillas de Corte [22]

1.10.2 Corte por calentamiento al tubo por medio de niquelinas.

Las niquelinas no son más que únicamente resistencias eléctricas con gran capacidad resistente, con esto se genera su propósito, ser una fuente de calor a partir de electricidad, basándose en el efecto Joule. Son muy utilizadas en la industria para aumentar la temperatura en procesos que así lo demanden [24].



Figura 7. Niquelinas tubulares [25]

1.10.3 Corte por hilo de nicrom bordando los extremos del tubo.

Es una elección óptima para el equipo que corta polímeros, debido a que los plásticos no poseen gran resistencia a altas temperaturas, por el contrario, el alambre de nicrom puede llegar a una temperatura de 1400°C, cortando fácilmente cualquier tipo de polímero.

El alambre de nicrom es una aleación de Níquel y Cromo lo cual lo hace resistente a la corrosión y de vida útil larga, por su alto punto de fusión [8].

El hilo de nicrom genera un corte limpio y sin mucho esfuerzo en espumas o esponjas; además que se puede adaptar a los limitantes que tenga su fuente de alimentación. Lo cual lo hace una de las mejores opciones para dicho tipo de corte [8].



Figura 8. Hilo de Nicrom [8]

1.11 Análisis de alternativas

Los parámetros para el análisis de alternativas están seleccionados en función de las necesidades planteadas, las cuales tienen una valoración que permitirá hacer una selección óptima de la opción más viable para el corte de esponja de poliestireno.

A continuación, se presentan las necesidades principales para identificar correctamente la opción más viable.

- **Calidad de corte:** Este es un parámetro esencial ya que tiene que ver completamente con el fin de la máquina, sin una buena calidad de corte no será posible realizar las investigaciones requeridas con la ayuda de la esponja de poliestireno.

- **Mantenimiento:** Dicho parámetro se lo toma en cuenta cuando la máquina ya se encuentra en operación, a toda máquina se le debe hacer un mantenimiento preventivo, o correctivo si es necesario. Por esto, es adecuado que dicha máquina tenga un mantenimiento económico y rápido para así no tener paros de producción.

- **Facilidad de operación:** Este es un aspecto que involucra el funcionamiento rápido y sencillo de la máquina y el proceso de corte cuando esta se encuentre operando, con esto se garantiza el fácil aprendizaje si en caso se llega a cambiar de operador.

- **Costo de operación:** Este parámetro involucra aspectos económicos, los cuales se busca que tengan el menor valor posible para así, asegurar una operación de la máquina eficiente.

Los parámetros presentados, previamente, son fundamentales en la selección correcta de un instrumento de corte, con un análisis cuidadoso de cada uno de los parámetros se llegará a la elección más adecuada.

1.12 Selección de la alternativa más viable

Para al análisis de alternativas se designará a cada tipo de prensa una calificación que irá de 1 a 5, con las siguientes consideraciones:

- 5 = excelente
- 4 = muy bueno
- 3 = bueno
- 2 = malo
- 1 = muy malo

Tabla 1. Análisis de alternativas de corte

Parámetros	Alternativas		
	Cuchillas	Niquelinas	Hilo de nicrom
Calidad de corte	1	2	5
Mantenimiento	3	4	5
Facilidad de operación	4	4	5
Costo de operación	2	3	5
Total	10	13	20

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Según la Tabla 1. la alternativa más viable para el corte de esponja de poliestireno es mediante el hilo de nicrom bordado en los extremos de los tubos.

1.13 Velocidad de corte del hilo de nicrom

Los polímeros, a excepción de los termoplásticos, al no ser resistentes al calor tienden a degradarse en presencia de este, lo cual hace al hilo de nicrom ideal para el corte de polímeros, la velocidad de corte depende de la densidad del polímero, siendo para el poliestireno 1cm/s. [26]

1.14 Partes principales de una prensa

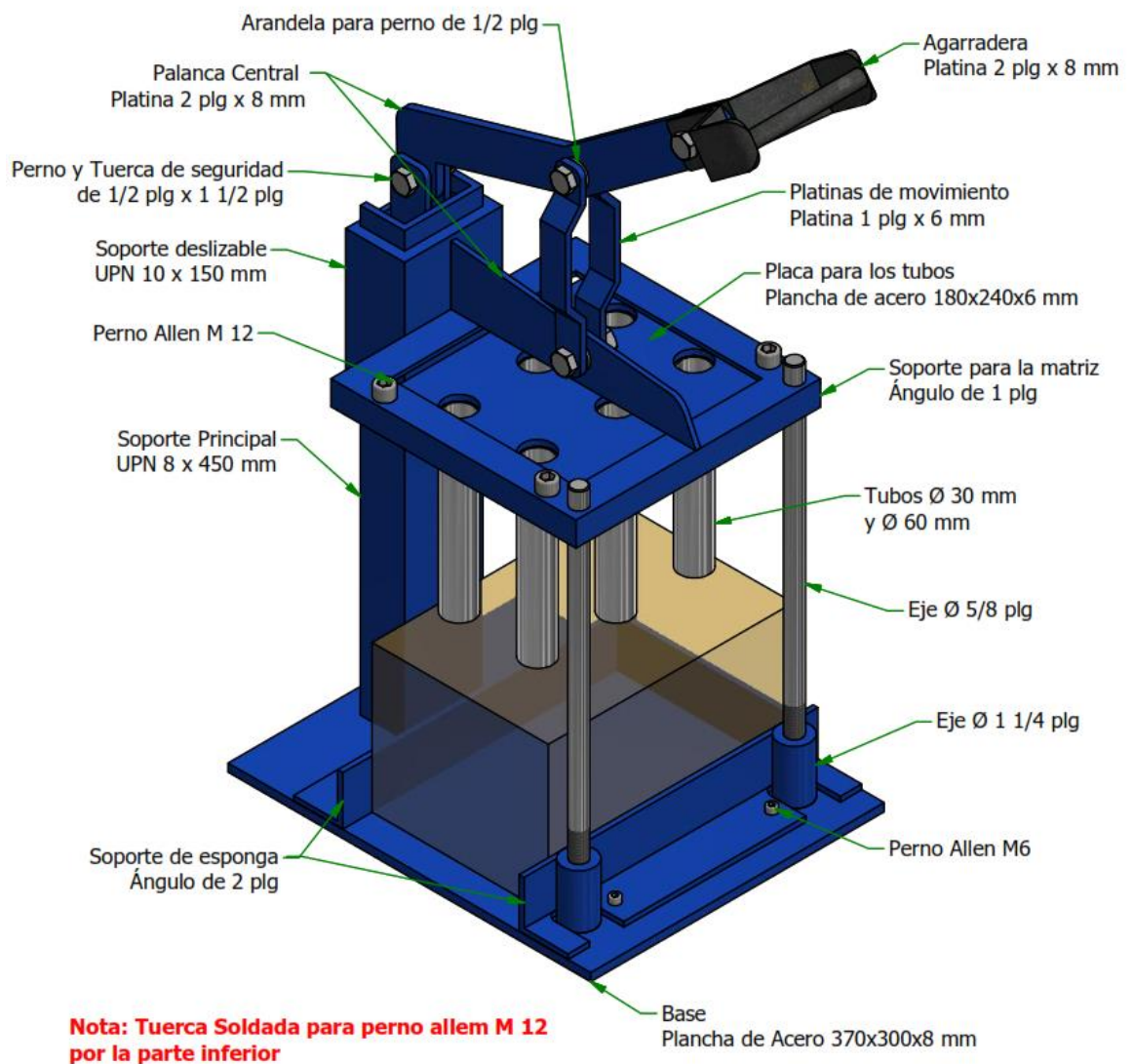


Figura 9. Partes y Materiales. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Las partes principales que están sometidas a esfuerzos, y sobre las cuales se realizarán los cálculos son:

- Tornillos
- Base o bancada
- Puntos de soldadura
- Columna
- Altura de trabajo

1.15 Formulación de diseño

1.15.1 Esfuerzo simple

Uno de los problemas básicos en ingeniería es seleccionar un material que soporte la carga para mantener el funcionamiento de una máquina o de una estructura, para llegar a la selección del mismo se usa el esfuerzo que va relacionado con la carga aplicada y el área del elemento [2].

$$\sigma = \frac{P}{A} \quad (1)$$

Donde:

(σ)	Esfuerzo	[psi]
(P)	Fuerza o carga ejercida	[lbf]
(A)	Área de la sección transversal	[in ²]

1.15.2 Carga total apoyada

Dicha carga es la sumatoria de todas las fuerzas de los componentes de la máquina sobre un apoyo [2].

$$F_T = F_1 + F_2 + F_3 + \dots + F_n \quad (2)$$

Donde:

(F_T)	Fuerza total apoyada	[lbf]
(F_n)	Fuerza enésima	[lbf]

1.15.3 Área total de corte

Sumatoria de los círculos de corte de la matriz por golpe.

$$A_T = A_1 + A_2 + A_3 + \dots + A_n \quad (3)$$

Donde:

(A_T) Área total de corte [mm²]

(A_n) Área enésima [mm²]

1.15.4 Área de un círculo

$$A_c = \pi * d * h \quad (4)$$

Donde:

(A_c) Área del círculo [mm²]

(d) Diámetro del círculo [mm]

(h) Altura de la esponja [mm]

1.16 Columnas Cortas

Es un elemento axial sometido a compresión, delgado o esbelto con respecto a su longitud, las columnas cortas se diferencian de las largas y medianas por su motivo de falla, ya que su único motivo de falla es por compresión, mientras que las largas y medianas puede ser por una combinación de compresión con flexión [2].

Para que una columna corta trabaje con los requerimientos de diseño debe cumplir:

$$fa \leq Fa \quad (5)$$

Donde:

(fa) Fuerza aplicada [psi]

(Fa) Fuerza admisible [psi]

Para el cálculo de la fuerza aplicada sobre la columna, no es nada más que un esfuerzo aplicable Ecuación 1, entonces se puede afirmar que:

$$fa = \frac{P}{A} \quad (6)$$

Donde:

(<i>fa</i>)	Fuerza aplicada	[<i>psi</i>]
(<i>P</i>)	Fuerza o carga ejercida	[<i>lbf</i>]
(<i>A</i>)	Área de la sección transversal	[<i>plg</i> ²]

Un factor crítico en dicho cálculo por compresión en columnas cortas es la esbeltez, el cual es la relación de longitud con área de la sección transversal.

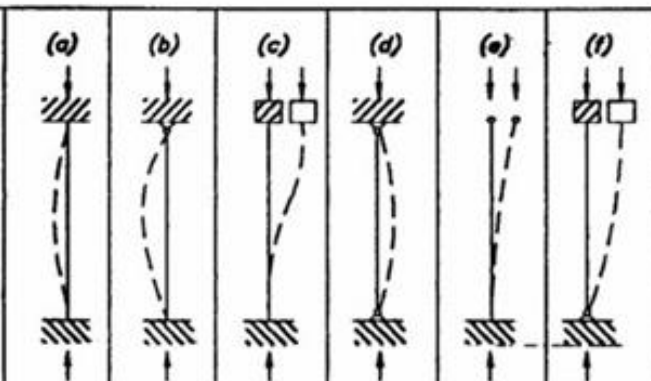
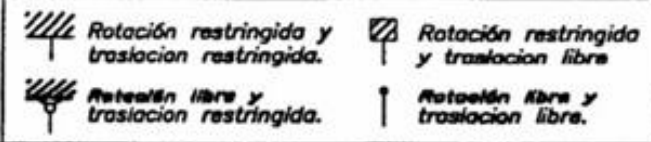
Si una columna es muy esbelta, o su longitud es mucho mayor al área, es muy probable que dicha columna falle [2].

$$\lambda = \frac{k*L}{r_{min}} \quad (7)$$

Donde:

(<i>λ</i>)	Esbeltez	[<i>adimensional</i>]
(<i>k</i>)	Constante de articulación	[<i>adimensional</i>]
(<i>L</i>)	Longitud	[<i>plg</i>]
(<i>r_{min}</i>)	Radio mínimo de giro	[<i>plg</i>]

Tabla 2. Valores de articulación K [27]

La forma de la columna pandeada se muestra con la línea de trazos	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor teórico de k.	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados para el diseño cuando las restricciones reales se aproximan a las ideales.	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0
Símbolos para las restricciones en los extremos.						
						

1.17 Uniones soldadas

En la industria mecánica, como estructural o de maquinaria, cada día se emplea en mayor número las uniones soldadas reemplazando a las que son con tornillos o remaches debido a su gran resistencia y fácil fabricación [28].

La soldadura se da por fusión de metal por arco eléctrico aportando material a la unión, la resistencia de una soldadura viene dado por la longitud del cordón de soldadura, se la determina con:

$$q = \frac{P}{L} \quad (8)$$

Donde:

- (q) Carga aplicada por longitud $\left[\frac{lb f}{plg} \right]$
(P) Carga aplicada $[lb f]$
(L) Longitud del cordón $[plg]$

Tabla 3. Propiedades del material de aporte de electrodos [2]

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

Las soldaduras también pueden estar sometidas a tensión y a cortante cuando existe una fuerza excéntrica que provoca momento sobre la soldadura, para ese caso se tiene dos esfuerzos cortantes, el primero dado por la fuerza excéntrica aplicada [28].

$$\tau' = \frac{F}{A} \quad (9)$$

Donde:

- (τ') Esfuerzo cortante primario [psi]
(F) Fuerza aplicada [lbf]
(A) Área de la sección transversal [plg²]

El segundo esfuerzo a cortante viene en función del momento aplicado en la soldadura producto de la fuerza excéntrica.

$$\tau'' = \frac{M*r}{I} \quad (10)$$

Donde:

- (τ'') Esfuerzo cortante secundario [psi]
(M) Momento aplicado [lbf]
(r) Radio de curvatura [plg]
(I) Inercia del cordón de soldadura [plg⁴]

Otra razón para la falla del cordón de soldadura puede ser por un esfuerzo aplicado sobre el mismo, como un esfuerzo a tensión.

$$\sigma = \frac{M*c}{I} \quad (11)$$

Donde:

(σ)	Esfuerzo	[psi]
(M)	Momento aplicado	[lbf]
(I)	Inercia del cordón de soldadura	[plg^4]
(c)	Distancia de la excéntrica	[plg]

1.18 Uniones apernadas

Dentro de la industria mecánica, una solución al problema de unión entre cuerpos o sólidos son las uniones apernadas, las cuales son removibles, si en caso es necesario.

Para la selección de pernos y tuercas hay que tener en cuenta las siguientes maneras de fallo más comunes:

- Tensión del perno
- Cizallamiento del perno

De entre las dos posibilidades, el diseñador debe seleccionar una a la cual el perno estará sometido con mayor carga, y en base a esa selección, diseñar al mismo [28].

1.19 Pernos bajo esfuerzo de cortante o cizallamiento

Pernos en los cuales están ejercidas fuerzas paralelas, pero en sentido opuesto. Esto tiene más ocurrencia en uniones de estructuras metálicas, pero también se puede dar en máquinas o mecanismos [28].

$$\tau = \frac{F}{A} \quad (12)$$

$$\tau = 0,577 \frac{S_p}{\eta_d} \quad (13)$$

Donde:

(τ)	Esfuerzo cortante	$[kpsi]$
(F)	Carga aplicada	$[klb]$
(A)	Área de la sección transversal	$[plg^2]$
(η_d)	Factor de seguridad	$[adimensional]$
(S_p)	Resistencia de prueba mínima	$[klb]$

CAPÍTULO II

DISEÑO DE UNA PRENSA MANUAL DE CORTE DE POLIESTIRENO

2. Generalidades

En el presente capítulo se analiza el dimensionamiento de los elementos de una prensa manual de poliestireno, bajo conocimientos de diseño mecánico, tales elementos como columnas y tornillos, a través de esfuerzos que actúan sobre los mismos con la ayuda de diagramas de cuerpo libre, esfuerzo cortante, y momento flector.

Adicionalmente se dimensiona la longitud y espesor de una soldadura por electrodo, la cual estará sometida a esfuerzos cortantes.

2.1 Área de corte cilíndrico de la prensa

Con el uso de la Ecuación 3 se determina el área de corte total que tendrá la prensa, la cual tendrá dos matrices intercambiables, una con seis unidades de corte de diámetro 30mm, y la otra con un diámetro de 50mm.

Al ser seis círculos de diámetros iguales se puede reducir la Ecuación 3 a:

$$A_T = 6(A_{\text{circulo}})$$

Para la matriz de 30mm se tiene:

$$A_T = 6(A_{30mm})$$

$$A_T = 6(\pi * d * h)$$

$$A_T = 6[\pi * (30mm) * (150mm)]$$

$$A_T = 84823 \text{ mm}^2$$

Para la matriz de 50mm se tiene:

$$A_T = 6(A_{50mm})$$

$$A_T = 6(\pi * d * h)$$

$$A_T = 6[\pi * (50mm) * (150mm)]$$

$$A_T = 141371,67 \text{ mm}^2$$

Dado las áreas se escoge una separación entre los centros de los cilindros de 80mm en el eje vertical y en el eje horizontal.

Partiendo de esa medida, se escoge una placa de 240mm x 180mm para servir de soporte de los cilindros de corte, tal como se muestra en la Figura a continuación:

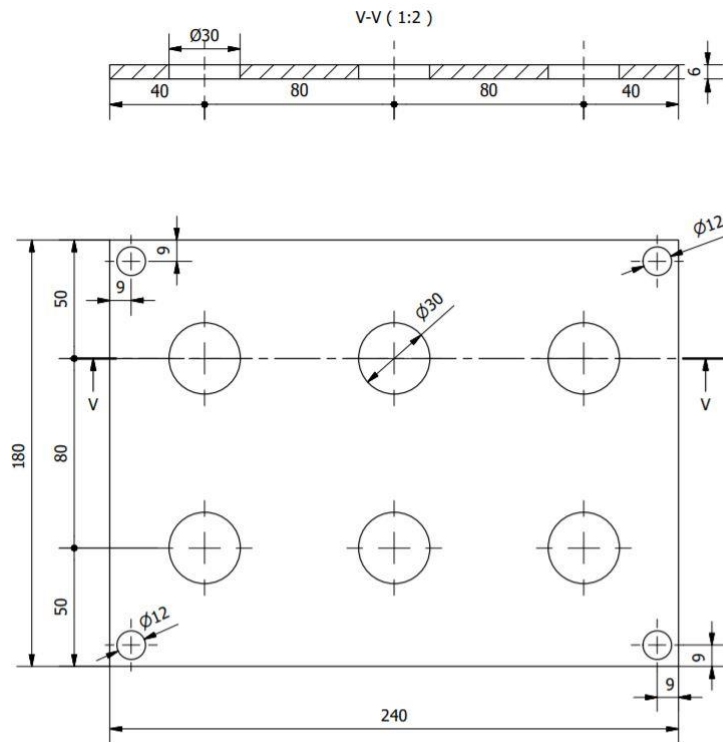


Figura 10. Vista superior de placa soporte de los cilindros de corte. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

2.2 Diseño de la columna de la prensa

A continuación, se detallan parámetros fundamentales para el dimensionamiento de la columna o sostén de la prensa, que son, la altura y la selección de un perfil adecuado.

2.3 Dimensionamiento de la altura de la prensa

Para comenzar con los cálculos respectivos, es primordial conocer la altura que tendrá, la cual será la suma de las alturas necesarias para ejecutar el corte.

$$h_{columna} \geq h_s + h_{cc} \quad (14)$$

Donde:

$(h_{columna})$	Altura de la columna	$[mm]$
(h_s)	Altura de la esponja de poliestireno	$[mm]$
(h_{cc})	Altura de los cilindros de corte	$[mm]$

Con el uso de la Ecuación 14 se conoce que la altura de la columna debe ser mayor a:

$$h_{columna} \geq 150mm + 175mm$$

$$h_{columna} \geq 325mm$$

Por motivos estéticos y para obtener mayor carrera de la prensa se escoge una altura de columna de:

$$h_{columna} = 450mm$$

O transformada a unidades de sistema inglés:

$$h_{columna} = 17,72plg$$

2.4 Selección de la columna de la prensa

La columna es el sostén de toda la máquina, por ende, necesita un dimensionamiento y con un factor de seguridad correctos para su posterior funcionamiento.

Se ha identificado que las masas de los componentes que ejercen una fuerza sobre la columna son:

Conjunto de palanca: 4,12 lbf

Matriz de corte: 11,34 lbf

Soporte de matriz de corte: 6,37 lbf

Aplicando la Ecuación 2 se obtiene que la fuerza total, la cual es la suma de todas las masas antes mencionadas que actúan en la columna:

$$F_T \approx 22 lbf$$

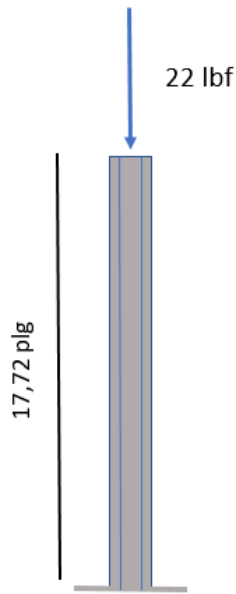


Figura 11. Diagrama de fuerza actuante sobre la columna. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Suponiendo un valor de esbeltez λ igual a 50, con los datos tabulados del Anexo 8. se obtiene el dato:

$$F_a = 18,35 \text{ kpsi}$$

Partiendo desde esta suposición y con la aplicación de la Ecuación 5 y de la Ecuación 6, se tiene:

$$F_a = f_a = \frac{P}{A}$$

Despejando A, se obtiene:

$$A = \frac{P}{F_a} \quad (15)$$

Donde:

(F_a) Fuerza admisible tabulada $[psi]$

(P) Fuerza o carga ejercida [lbf]

(A) Área de la sección transversal [plg²]

Aplicando la Ecuación 15, se obtiene:

$$A = \frac{22 \text{ lbf}}{18\,350 \text{ psi}}$$

$$A = 0,0012 \text{ plg}^2$$

$$A \approx 1 \text{ plg}^2$$

Tabla 4. Propiedades de la columna-ángulo L1x1x1/8 [27]

Área		
Designación	(in ²)	r min (in)
L1x1x1/8	0,234	0,304

Aproximándolo a valores de tablas de perfiles de ángulos L que se escogió para el cálculo, da como resultado un perfil L1x1x1/8, el cual dispone de un área de 0,234plg² tabulada en la Tabla 4.

Mediante el uso de la Tabla 2. se obtiene la constante de articulación en la columna, al tener un extremo empotrado y el otro libre es:

$$k = 2$$

Con los valores obtenidos previamente, la ayuda de la Ecuación 7 y el Anexo 7, el cual tabula un radio mínimo “r” del perfil L1x1x1/8 de 0,304 plg, se puede obtener la esbeltez de la columna.

$$\lambda = \frac{2 * 17,72 \text{ plg}}{0,304 \text{ plg}}$$

$$\lambda = 116,57$$

Tabla 5. Fuerza admisible de la columna L2x2x1/8 [27]

$\frac{Kl}{r}$	Fa (ksi)
116	10,85
116,57	10,77
117	10,71

Calculado el valor de esbeltez, con el uso de la Tabla 5. se obtiene el valor de la fuerza admisible.

$$F_a = 10,77 \text{ kpsi}$$

Para calcular la fuerza aplicada, se utiliza la Ecuación 6, obteniendo:

$$f_a = \frac{P}{A}$$

$$f_a = \frac{22lbf}{0,234 \text{ plg}^2}$$

$$f_a = 0,094 \text{ kpsi}$$

Mediante la Ecuación 5 se verifica si la columna está correctamente seleccionada.

$$f_a \leq F_a$$

$$0,094 \text{ kpsi} \leq 10,77 \text{ kpsi}$$

Por lo tanto, se llega a la conclusión de que la columna resistirá la carga aplicada.

El factor de seguridad dentro de columnas determina con cuánto rango el elemento está trabajando en condiciones ideales, se lo suele exagerar un poco por seguridad si

en algún caso se llega a aplicar una fuerza externa que pueda ver afectado la estabilidad de la columna.

$$\eta = \frac{F_a}{f_a} \quad (16)$$

Donde:

(η) Factor de seguridad [adimensional]

(F_a) Fuerza admisible [psi]

(f_a) Fuerza aplicada [psi]

Aplicando la Ecuación 16 se obtiene el factor de seguridad.

$$\eta = \frac{10,77 \text{ kpsi}}{0,094 \text{ kpsi}}$$

$$\eta = 114$$

Se obtiene un factor de seguridad sumamente alto, por las bajas cargas que se emplean en la columna. Por motivos estéticos y de disponibilidad de material se escogió un perfil UPN de 80 mm.

Tabla 6. Propiedades de la columna UPN80 [27]

Designación	Área (in ²)	r min (in)
UPN80	3,38	0,625

Según la Tabla 6. una UPN 80 disponible en el mercado ecuatoriano, con un área de la sección transversal de 3,38plg², para encontrar la fuerza admisible tabulada necesitamos la Ecuación 7 para encontrar su esbeltez.

$$\lambda = \frac{2 * 17,72 \text{ plg}}{0,625 \text{ plg}}$$

$$\lambda = 56,704$$

Tabla 7. Fuerza admisible de la columna UPN80 [27]

$\frac{Kl}{r}$	Fa (ksi)
56	17,81
56,704	17,75
57	17,71

Con los datos de esbeltez y la ayuda de la Tabla 7. se obtiene la fuerza admisible que es:

$$F_a = 17,75 \text{ kpsi}$$

Para calcular la fuerza aplicada se utiliza la Ecuación 6.

$$f_a = \frac{P}{A}$$

$$f_a = \frac{22lbf}{3,38 \text{ plg}^2}$$

$$f_a = 0,0065 \text{ kpsi}$$

Mediante la Ecuación 5 se verifica si la columna está correctamente seleccionada.

$$f_a \leq F_a$$

$$0,0065 \text{ kpsi} \leq 17,75 \text{ kpsi}$$

Por lo tanto, se puede decir que la columna cumple satisfactoriamente la condición.

Mediante la Ecuación 16 antes vista, se calcula el factor de seguridad.

$$\eta = \frac{17,75 \text{ kpsi}}{0,0065 \text{ kpsi}}$$

$$\eta = 2738$$

Se observa que la columna que se seleccionó tiene un factor de seguridad en sobredimensionamiento, pero como se mencionó, se la seleccionó por motivos estéticos y de disponibilidad. Caso contrario se hubiera seleccionado un ángulo L1x1x1/8, el cual, mediante resistencia de materiales se demostró que resiste bastante bien las fuerzas aplicadas.

2.5 Fuerza necesaria para el corte

Debido a que la esponja de poliestireno será cortada por la degradación en forma cilíndrica del material por calor, basta con la fuerza ejercida por el peso de los componentes, tales como placa matriz, cilindros de corte, y el soporte de matriz, que en conjunto dan un aproximado de 20 lbf.

2.6 Cálculo de la soldadura de la columna

La columna al ser el sostén de toda la estructura, y parte principal del funcionamiento de la prensa, debe de cumplir ciertos parámetros para su correcto trabajo sin que se presenten imprevistos que impida su operación.

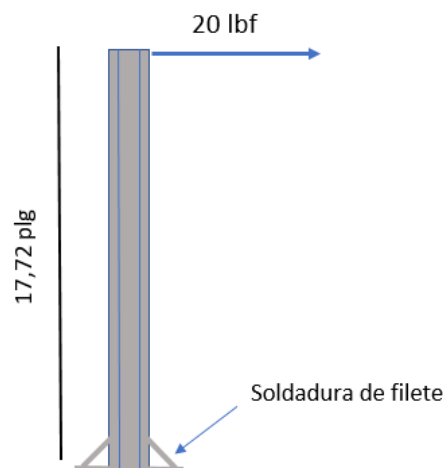


Figura 12. Diagrama de la soldadura en la columna, Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Según el Anexo 6. se tiene que:

$$A = 1,414h * d \quad (17)$$

Donde:

(A) Área del cordón $[plg^2]$

(h) Altura del cordón $[plg]$

(d) Longitud del cordón $[plg]$

Entonces con la Ecuación 17 se obtiene que el área del cordón con 1/8 de altura de garganta es igual a:

$$A = 1,414 * (0,125plg) * (6plg)$$

$$A = 1,06 plg^2$$

Para el cálculo del segundo momento unitario, se parte del Anexo 5. se tiene:

$$I_u = \frac{d^3}{6} \quad (18)$$

Donde:

(I_u) Segundo momento unitario $[plg^3]$

(d) Longitud del cordón $[plg]$

Aplicando la Ecuación 18 con una longitud del cordón de 6plg, se tiene:

$$I_u = \frac{(6)^3}{6}$$

$$I_u = 36plg^3$$

La inercia es la energía necesaria para que un cuerpo cambie su estado, en resistencia de materiales se traduce a si el cuerpo falla o no, se puede dar en muchas unidades,

pero en este caso, para facilidad de cálculos, se utiliza con unidades longitudinales elevados a la cuarta potencia.

Para el cálculo de dicha inercia se tiene:

$$I = 0,707 * h * I_u \quad (19)$$

Donde:

(I) Inercia $[plg^4]$

(h) Altura del cordón $[plg]$

(I_u) Segundo momento unitario $[plg^3]$

Utilizando la Ecuación 19 para obtener la inercia en un cordón de soldadura con una altura del cordón de 1/8:

$$I = 0,707 * (0,125plg) * (36plg^3)$$

$$I = 3,18plg^4$$

Para conocer los esfuerzos internos que soporta la viga, se procede con un diagrama de cuerpo libre de la misma, ubicando todas las fueras en la dirección en la que estas actúan.

Estáticamente se sabe que la resultante de los esfuerzos que actúan sobre la sección transversal de un componente mecánico se puede reducir a una fuerza cortante V y a un momento flexionante M , con sus diagramas respectivos [29].

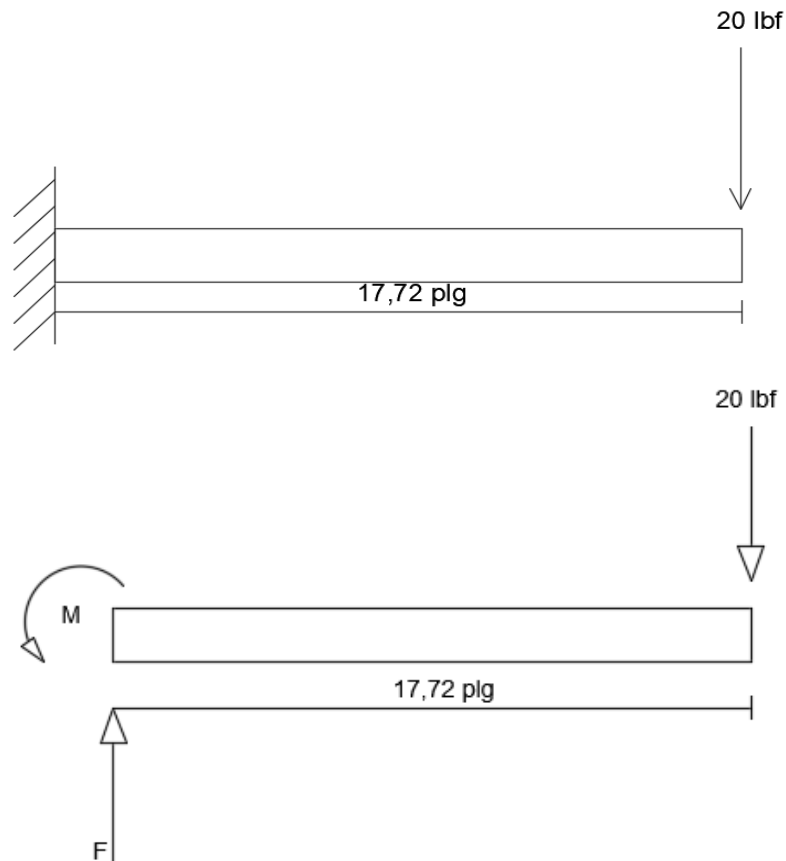


Figura 13. Diagrama del cuerpo libre de la columna. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Las resultantes de esfuerzo en vigas estáticamente indeterminadas se pueden calcular con ecuaciones de equilibrio. Una de ellas es la ecuación de equilibrio de fuerzas, donde se debe respetar la concesión de signos de cada una de ellas.

$$\Sigma F_{x-y} = 0 \quad (20)$$

Donde:

(ΣF) Sumatorio de fuerzas [lbf]

Aplicando la Ecuación 20 se puede conocer la fuerza F que actúa sobre el cordón de soldadura.

$$\begin{aligned} \uparrow \Sigma F_y &= 0 \\ F - 20lbf &= 0 \\ F &= 20lbf \end{aligned}$$

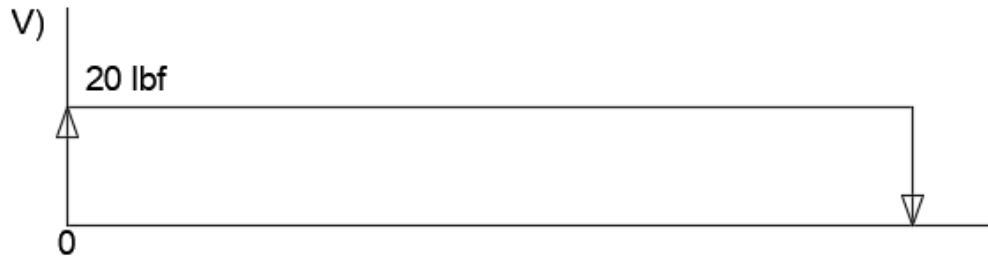


Figura 14. Diagrama de fuerza cortante V. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

La segunda ecuación de equilibrio es la ecuación de equilibrio de momentos, donde al igual que la anterior, se debe respetar la concesión de signos; pero, además, se debe elegir un punto de referencia de distancias que generan momentos.

$$\Sigma M_{punto} = 0 \quad (21)$$

Donde:

(ΣM) Sumatorio de momentos [$lbf * plg$]

Aplicando la Ecuación 21 se puede conocer el momento M que actúa sobre el cordón de soldadura.

$$\hookrightarrow \Sigma M_F = 0$$

$$M - 354,4 \text{ lbf} * plg = 0$$

$$M = 354,4 \text{ lbf} * plg$$

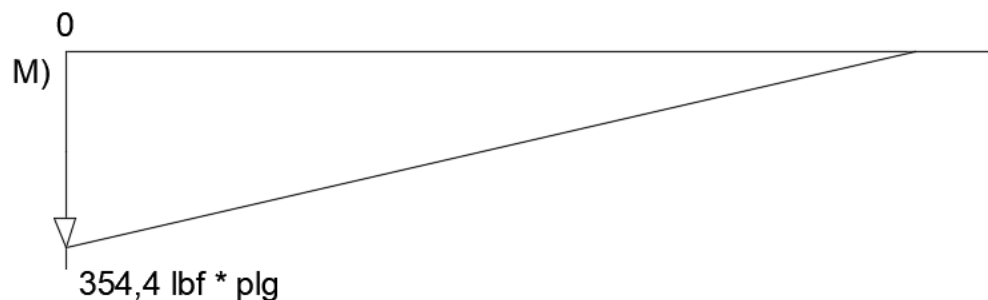


Figura 15. Diagrama momento flector M, Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Utilizando la Ecuación 9 se obtiene el cortante primario en la soldadura.

$$\tau' = \frac{F}{A}$$

$$\tau' = \frac{20 \text{ lbf}}{1,06 \text{ plg}^2}$$

$$\tau' = 18,87 \text{ psi}$$

Para el cortante secundario utilizamos la Ecuación 10:

$$\tau'' = \frac{M * r}{I}$$

$$\tau'' = \frac{20 \text{ lbf} * (17,72 \text{ plg}) * (1 \text{ plg})}{3,18 \text{ plg}^4}$$

$$\tau'' = 111,4 \text{ psi}$$

La relación pitagórica es resultado del triángulo de fuerzas que se forma en el filete de la soldadura, es un aproximado al esfuerzo total aplicado sobre el cordón de soldadura.

Para el cálculo del cortante total en función del cortante primario y secundario se tiene la siguiente formula:

$$\tau = (\tau'^2 + \tau''^2)^{1/2} \quad (22)$$

Donde:

(τ) Esfuerzo cortante total [psi]

(τ') Esfuerzo cortante primario [psi]

(τ'') Esfuerzo cortante secundario [psi]

Calculando la relación pitagórica del cortante de la Ecuación 22:

$$\tau = (18,87^2 + 111,4^2)^{1/2}$$

$$\tau = 113 \text{ psi}$$

El factor de seguridad según la energía de distorsión viene en función del esfuerzo cortante total, en el cual se busca que sea superior a 1, ya que, si es menor, la soldadura seguramente fallará.

Dicho factor de seguridad viene determinado por:

$$\eta = \frac{S_{xy}}{\tau} \quad (23)$$

Donde:

(η) Factor de seguridad [adimensional]

(S_{xy}) Resistencia a la fluencia [kpsi]

(τ) Esfuerzo cortante total [psi]

Se procede a su cálculo, con el dato del Anexo 5. y la Ecuación 23 para conocer la resistencia a la fluencia del material del cordón.

$$\eta = \frac{50\,000 \text{ psi}}{113 \text{ psi}}$$

$$\eta = 442$$

Este factor de seguridad alto se debe a la longitud de la soldadura, a continuación, se calcula la longitud necesaria para aguantar la carga aplicada sobre la columna, con el uso de la Ecuación 8.

$$q = \frac{P}{L}$$

Despejando la longitud del cordón “L” se tiene:

$$L = \frac{P}{q} \quad (24)$$

Según la Tabla 3 la fuerza aplicable por unidad de longitud del electrodo E6011 con una altura de cordón de 1/8 plg es 1 590 lbf/plg, al aplicarla a la Ecuación 24 se tiene:

$$L = \frac{20 \text{ lbf}}{1590 \text{ lbf/plg}}$$

$$L = 0,012 \text{ plg}$$

Por motivos estéticos se mantiene las 6 pulgadas de longitud del cordón, aunque se verificó que con un punto de suelda es suficiente para resistir la carga aplicada.

2.7 Selección de pernos

Con el uso de un dinamómetro se sabe que, en el punto de máximo esfuerzo, cuando la prensa baja totalmente y se apoya con la sufridera, tiene una fuerza aplicada de 20lbf.

Mediante el uso de la Ecuación 13, deseando un factor de seguridad η_d de 5, y una resistencia de prueba mínima S_p de 33 000 psi, se tiene un esfuerzo cortante de:

$$\tau = 0,577 \frac{S_p}{\eta_d}$$

$$\tau = 0,577 \frac{33000 \text{ psi}}{5}$$

$$\tau = 3\,808 \text{ psi}$$

Mediante la Ecuación 12, se despeja y determina el área del perno necesaria para resistir la fuerza de la palanca accionadora de la prensa.

$$A = \frac{F}{\tau}$$

$$A = \frac{20 \text{ lbf}}{3808 \text{ psi}}$$

$$A = 0,0052 \text{ plg}$$

Según el Anexo 1, se escoge el tornillo de 1/8 plg, ya que es el más pequeño que se encontró en el mercado ecuatoriano. Se observa según los cálculos, que el tornillo resistirá satisfactoriamente las exigencias.

Por motivos estéticos se seleccionaron 2 pernos de 0,5 plg cada uno, entonces para el calcular el área de dicho tornillo se utiliza la Ecuación 4:

$$A_{\text{perno}} = \frac{\pi}{4} * (0,5)^2$$

$$A_c = 0,1963 \text{ plg}^2$$

Al tener ambos datos podemos hacer uso de la Ecuación 12.

$$\tau = \frac{20 \text{ lbf}}{0,1936 \text{ plg}^2}$$

$$\tau = 10,186 \text{ psi}$$

Ya teniendo el esfuerzo a cortante que actúan sobre los pernos, se puede emplear la Ecuación 13.

$$\tau = 0,577 \frac{S_p}{\eta_d}$$

Despejando el factor de seguridad η_d y obteniendo el valor de S_p del Anexo 4 se obtiene:

$$\eta_d = 0,577 \frac{S_p}{\tau}$$

$$\eta_d = 0,577 \frac{33\,000 \text{ psi}}{10,186 \text{ psi}}$$

$$\eta_d = 1\,869$$

2.8 Cálculos requeridos para la fabricación de las niquelinas tubulares y selección del cable.

Según el Anexo 8. se tiene que:

a. Potencia

$$P = \frac{V^2}{R} \quad (25)$$

Donde:

(P) Potencia [W]

(V) Tensión [V]

(R) Resistencia [Ω]

Despejando la resistencia de la Ecuación 25, se obtiene:

b. Resistencia

$$R = \frac{V^2}{P} \quad (26)$$

Donde:

(P) Potencia [W]

(V) Tensión [V]

(R) Resistencia [Ω]

Seleccionar el cable según el Anexo 7. se tiene que:

c. Intensidad

$$I = \frac{P}{V} \quad (27)$$

Donde:

(P) Potencia [W]

(V) Tensión [V]

(I) Intensidad [A]

Despejando la resistencia de la Ecuación 27, se obtiene:

d. Resistencia

$$P = V * I \quad (28)$$

Donde:

(P) Potencia [W]

(V) Tensión [V]

(I) Intensidad [A]

Datos de las niquelinas

$$V = 110$$

$$P = 1000 \text{ W}$$

$$R = 15 \Omega \sim 14 \Omega$$

Mediante el uso de la Ecuación 26, se determina la resistencia:

$$P = \frac{V^2}{R} \Rightarrow R = \frac{V^2}{P} = \frac{110^2}{1000} = 12.1 \Omega$$

Mediante el uso de la Ecuación 25, se determina la potencia que va a consumir el sistema eléctrico:

$$P = \frac{110^2}{15} = 806.667 \text{ W}$$

Mediante el uso de la Ecuación 27, se determina la intensidad:

$$P = V * I \Rightarrow I = \frac{806.667}{110} = 7.33 \text{ [A]}$$

$$I = 1.2 * 7.33 = 8.796 \text{ [A]}$$

La intensidad total está multiplicada por dos, debido a que se realizan dos niquelinas para el análisis de corte.

$$IT = 17.592 \text{ [A]}$$

Para seleccionar el cable según el Anexo 11. se tiene:

La intensidad total es de:

$$IT = 17.592 \text{ [A]}$$

Por lo tanto, al seleccionar el conductor se debe tomar en cuenta el de mayor valor de la capacidad que soporta, en este caso el de calibre 20, como resultante:

Cable AWG 12

Breakers, monofásico 10[A]

21.11[A]

↳ 10 AWG

Enchufe de 25[A], monofásico.

2.9 Diseño de la placa base

La placa base será donde la prensa tendrá sus cimientos; por lo tanto, necesita un dimensionamiento correcto, además que debe contar con un área de trabajo donde se encontrará la esponja de poliestireno.

La placa base debe tener un área superior al área de trabajo y la zona donde estará la columna de la prensa, por lo tanto:

$$A_{base} \geq A_{esponja} + A_{columna} \quad (29)$$

Donde:

(A_{base})	Área de la placa base	$[plg^2]$
$(A_{esponja})$	Área de la esponja	$[plg^2]$
$(A_{columna})$	Área de apoyo de la columna	$[plg^2]$

Reemplazando los valores en la Ecuación 29 se obtiene:

$$A_{base} \geq 69,75 plg^2 + 2 plg^2$$

$$A_{base} \geq 71,75 plg^2$$

Por motivos de mayor amplitud en el área de trabajo se escoge una placa de 290mm x 370mm con un área de:

$$A_{base} = 166,31 plg^2$$

2.10 Dimensionamiento de la palanca

La palanca es el elemento que permite al operario levantar o descender la prensa, para así lograr el corte deseado. Dicha palanca se rige por la ecuación de momento:

$$M = F \times d \quad (30)$$

(M)	Momento	$[lbf * plg]$
(F)	Fuerza	$[lbf]$
(d)	Distancia	$[plg]$

La fuerza ergonómica de levantamiento que hace una persona promedio con el brazo no es superior a 7lbf [30], por ende, en este caso se seleccionó una fuerza de 6lbf para determinar los esfuerzos y distancias de la palanca.

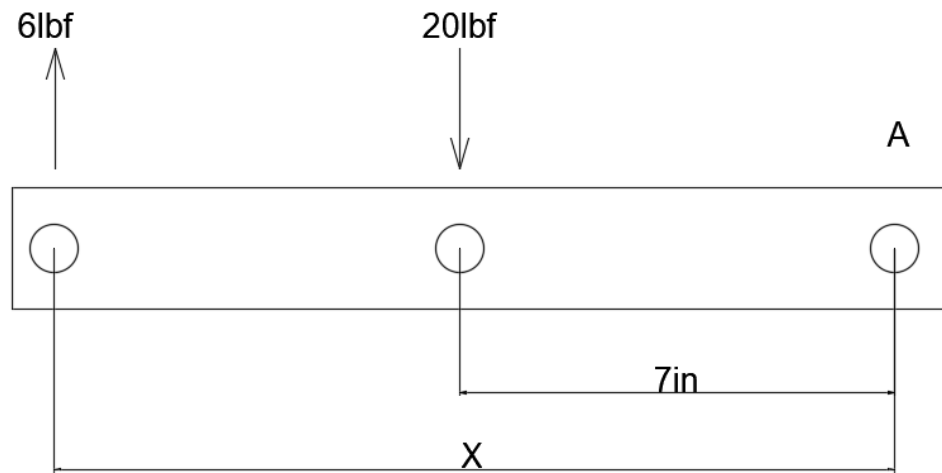


Figura 16. Diagrama de la palanca..Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Con el uso de la Ecuación 21 y la Ecuación 30 se procede a hacer el equilibrio de momentos en el punto A.

$$\begin{aligned}\sum M_A &= 0 \\ 20lbf * 7plg &= 6lbf * x \\ x &= 23,33plg\end{aligned}$$

La palanca debe tener una distancia mínima de 23,33plg desde el punto A para que exista una fuerza ergonómica de levantamiento.

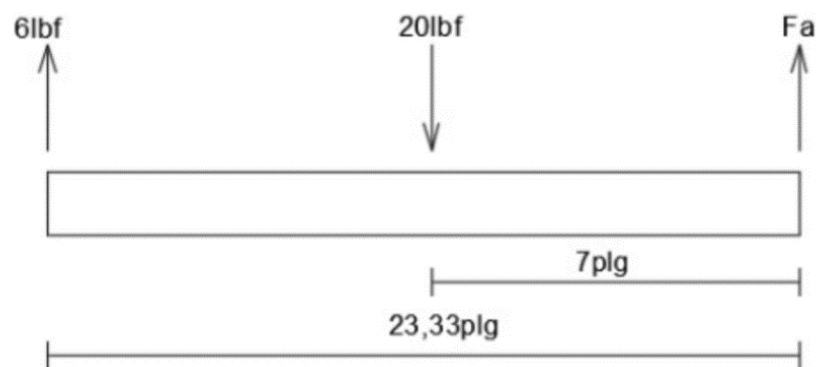


Figura 17. Diagrama del cuerpo libre de la palanca. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

El diagrama del cuerpo libre de la Figura 17. muestra de mejor manera las fuerzas y momentos que actúan sobre el elemento, en este caso, la palanca accionadora.

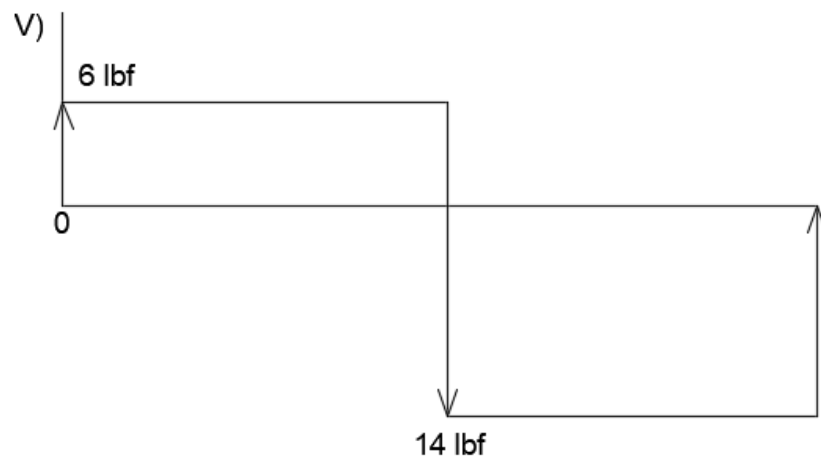


Figura 18. Diagrama esfuerzo cortante V de la palanca. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Mediante el diagrama de esfuerzos cortantes V y con el uso de la Ecuación 30 se obtiene el momento máximo que actúa sobre la viga en voladizo presentada.

$$M = 6lbf (16,33plg)$$

$$M = 97,98 lbf * plg$$

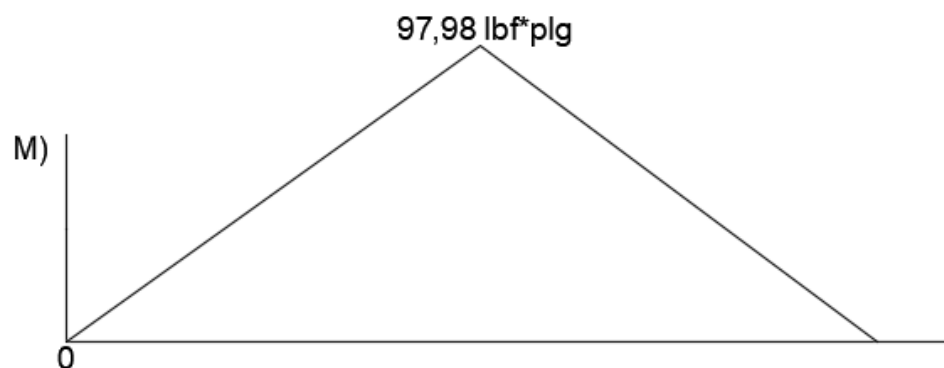


Figura 19. Diagrama momento flector M de la palanca, Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

El esfuerzo máximo por momento flector en vigas está dado por la Ecuación:

$$\sigma_{max} = \frac{M * C}{I} \quad (31)$$

Donde:

(σ_{max})	Esfuerzo máximo a flexión	$[psi]$
(M)	Momento máximo	$[lbf * plg]$
(C)	Distancia del centro de masa	$[plg]$
(I)	Inercia	$[plg^4]$

Tomando en cuenta que para el diseño de la palanca se seleccionará una platina de acero ASTM A-36 con las siguientes características:

Tabla 8. Propiedades de las platinas ASTM A-36 [31].

Ancho (in)	Espesor (in)
1	0,12
2	0,12

Por motivos de cálculos se selecciona una platina de 1plg, sabiendo que el centro de masa es de 0,5plg y la inercia es de 0,01plg⁴.

Mediante la Ecuación 31 se determina el esfuerzo máximo a flexión de la viga en voladizo.

$$\sigma_{max} = \frac{97,98lbf * plg(0,5plg)}{0,01plg^4}$$

$$\sigma_{max} = 4,89ksi$$

El esfuerzo permisible de las platinas de acero ASTM A-36 es de:

$$\sigma_{permi} = 36ksi$$

Por lo tanto,

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{permi}$$

Cumpliendo la condición de diseño, con un factor de seguridad igual a:

$$\eta = \frac{\sigma_{permi}}{\sigma_{max}}$$

$$\eta = \frac{36ksi}{4,89ksi}$$

$$\eta = 7,36$$

Aunque la platina de 1plg soporta bastante bien las fuerzas aplicadas, para el diseño de la palanca se selecciona una platina de 2plg por motivos estéticos. Sabiendo que su centro de masa es 1plg, su inercia es $0,04plg^4$, y con el uso de la Ecuación 31 se tiene que:

$$\sigma_{max} = \frac{97,98lbf * plg(1plg)}{0,04plg^4}$$

$$\sigma_{max} = 2,45ksi$$

Cumpliendo que:

$$\sigma_{max} \leq \sigma_{permi}$$

Con un factor de seguridad igual a:

$$\eta = \frac{\sigma_{permi}}{\sigma_{max}}$$

$$\eta = \frac{36ksi}{2,45ksi}$$

$$\eta = 14,69$$

CAPÍTULO III

SIMULACIÓN Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

3. Generalidades

En el presente capítulo se realizará el proceso de diseño y simulación tomando en cuenta los siguientes programas a trabajar: Autodesk Inventor 2017, Ansys Workbench 2019 R3, con sus respectivas licencias estudiantiles, en los cuales se realizará el análisis de corte, simulación de corte en frío y caliente, para observar el comportamiento de la esponja de poliestireno al someterse a las condiciones previamente descritas.

Además de un análisis de costos para una posible fabricación de la máquina, donde se involucrarán costos directos e indirectos para una aproximación más acertada.

3.1 Dimensionamiento de la prensa

3.1.1 Medidas generales

Medidas en mm

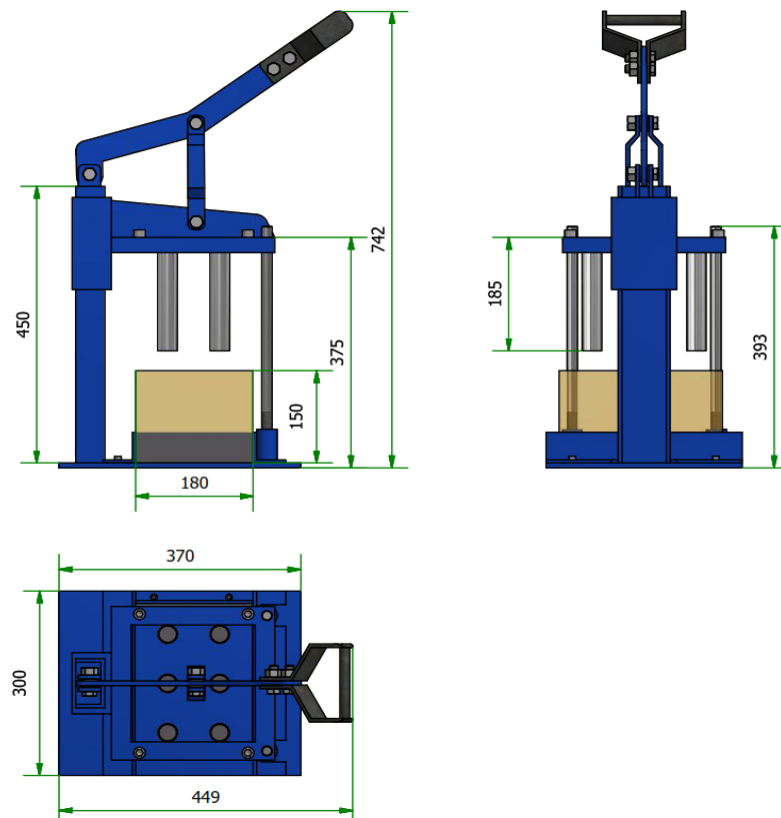


Figura 20. Medidas Generales de la Prensa. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

3.1.2 Simulación del desplazamiento de la columna principal

Como se observa en la Figura 21. de la simulación se tiene como resultado un desplazamiento de 0,08 mm ubicada en la parte superior de la columna principal donde se acopla la palanca que soporta la matriz de corte para ascender o descender cuando se necesario.

Dicha medida es casi despreciable o nula debido al sobredimensionamiento detallado en el Capítulo II, se comprueba mediante esta simulación que esta columna tendrá un funcionamiento excelente durante toda la vida útil de la prensa.

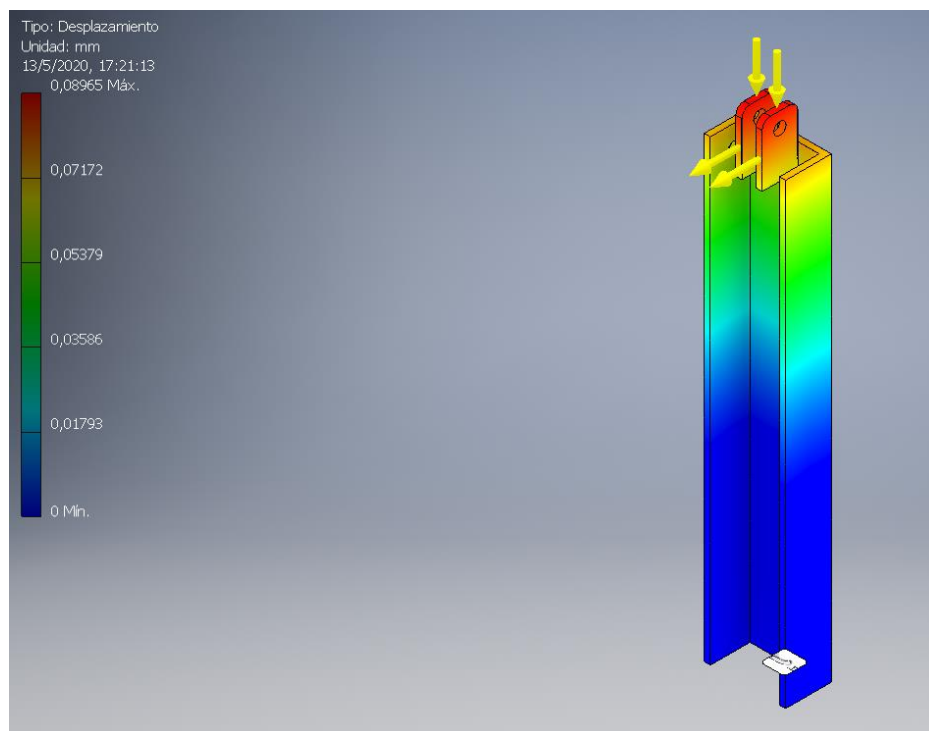


Figura 21. Simulación de desplazamiento con escala real. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Figura 22. se aprecia la misma simulación de la Figura 21. pero con una escala aumentada a $\times 0.5$ para apreciar la deformación en la columna para una mejor compresión de la misma.

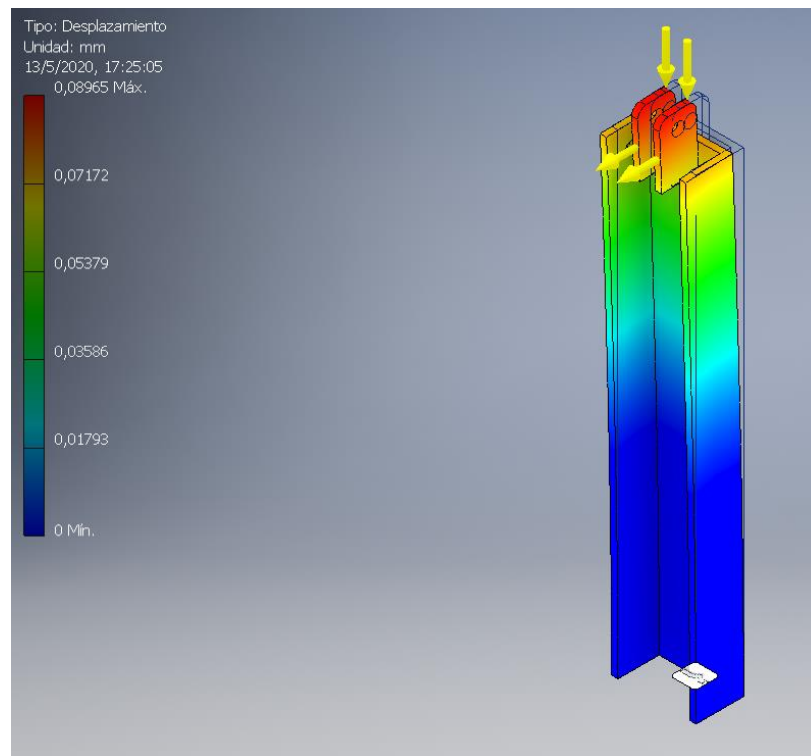


Figura 22. Simulación de desplazamiento con escala aumentada x 0.5, para visualizar mejor la deformación. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

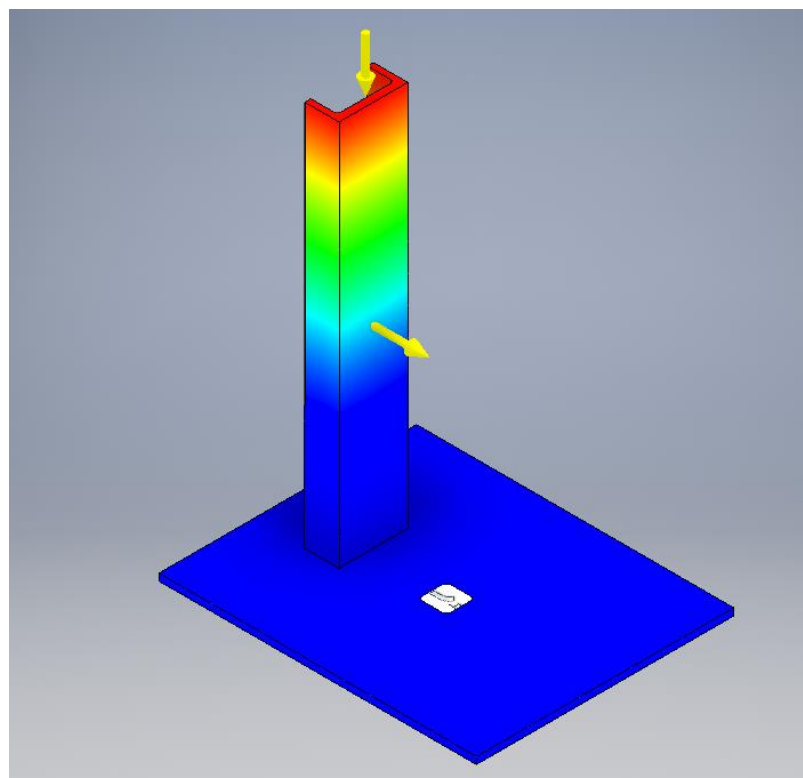


Figura 23. Simulación de desplazamiento con escala real. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

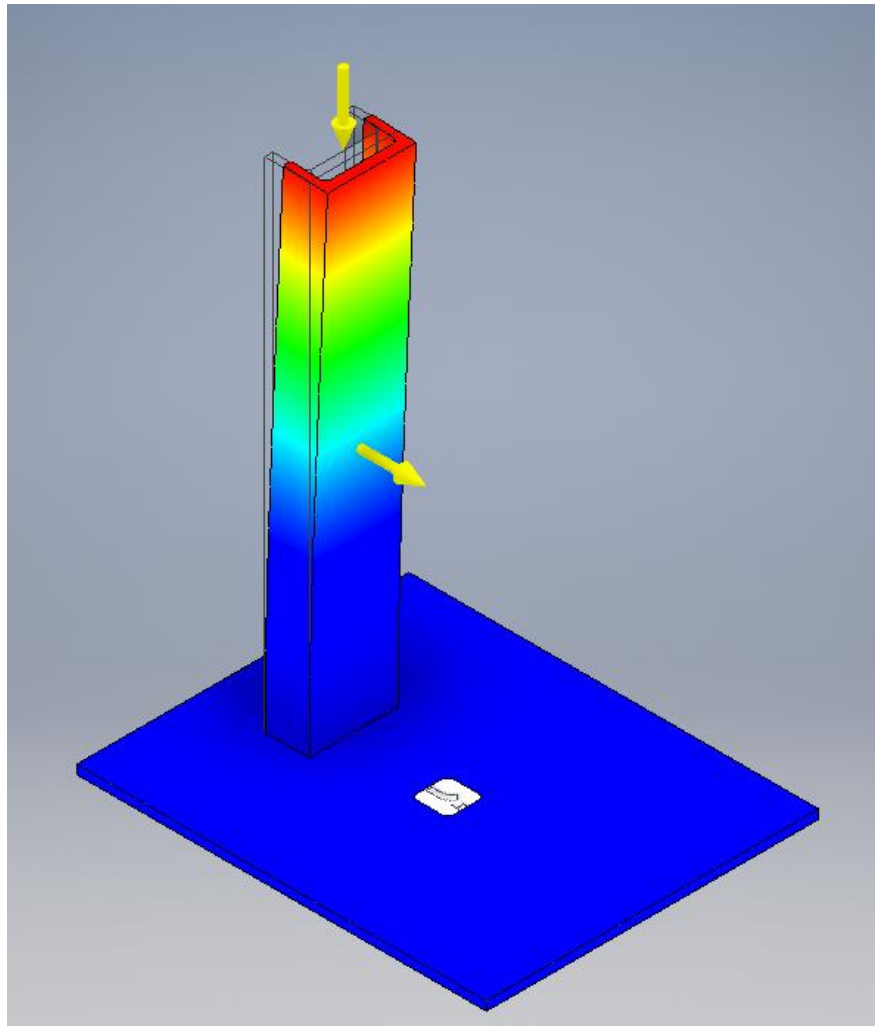


Figura 24. Simulación de desplazamiento con escala aumentada a x 0.5. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Tanto en la Figura 23. como en la Figura 24. se observa que, en la unión de la columna con su base, existe muy poco esfuerzo que actuará sobre la soldadura entre ellas, la cual también se detalló su sobredimensionamiento en el Capítulo II. Lo que comprueba que, con la longitud de cordón recomendada, esta no se verá afectada durante el funcionamiento de la prensa.

3.2 Simulación de Corte por medio de cuchillas en los extremos del tubo.

3.2.1 Modelo a simular

En la Figura 25. se observa el modelo de una unidad de corte y la esponja de poliestireno, dicha unidad de corte posee una cuchilla en el extremo del tubo que estará en contacto con la esponja.

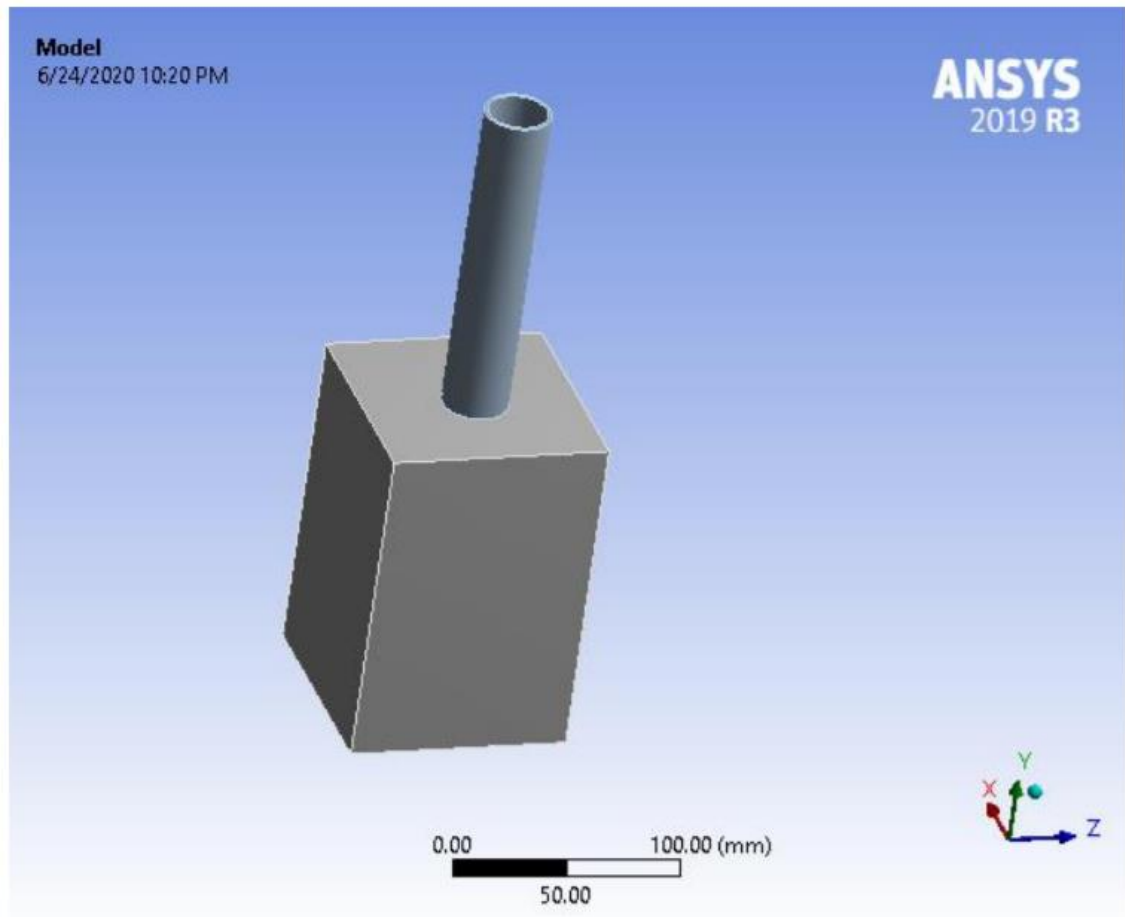


Figura 25. Modelo a simular. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

3.2.2 Propiedades de la esponja a simular.

En la Figura 26. con la asistencia del programa Ansys Workbench 2019 R3, se muestran las propiedades de la esponja de poliestireno útiles para la simulación de corte de este.

En la cual se realizará la simulación de corte por filo, además, se observará la deformación que existe en la esponja de poliestireno.

POLYSTYREN

TABLE 22
POLYSTYREN > Constants

Density	1.044e-006 kg mm ⁻³
---------	--------------------------------

TABLE 23
POLYSTYREN > Shock EOS Linear

Gruneisen Coefficient	Parameter C1 mm s ⁻¹	Parameter S1	Parameter Quadratic S2 s mm ⁻¹
1.18	2.746e+006	1.319	0

TABLE 24
POLYSTYREN > Color

Red	Green	Blue
234	247	209

TABLE 25
POLYSTYREN > Shear Modulus

Shear Modulus MPa
750

Structural Steel

TABLE 26
Structural Steel > Constants

Density	7.85e-006 kg mm ⁻³
Coefficient of Thermal Expansion	1.2e-005 C ⁻¹
Specific Heat	4.34e+005 mJ kg ⁻¹ C ⁻¹
Thermal Conductivity	6.05e-002 W mm ⁻¹ C ⁻¹
Resistivity	1.7e-004 ohm mm

TABLE 27
Structural Steel > Color

Red	Green	Blue
132	139	179

TABLE 28
Structural Steel > Compressive Ultimate Strength

Compressive Ultimate Strength MPa
0

TABLE 29
Structural Steel > Compressive Yield Strength

Figura 26. Propiedades de la esponja y propiedades lineales usadas. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

El modelo de material desarrollado para la simulación de prueba de compresión en la Figura 27. experimentara diversas fuerzas en la simulación de prueba de caída. Ya que, en el impacto de la barra larga, la fuerza de compresión se localiza en un área

pequeña ubicada en superficie de la esponja, creando así una combinación de compresión y cizallamiento.

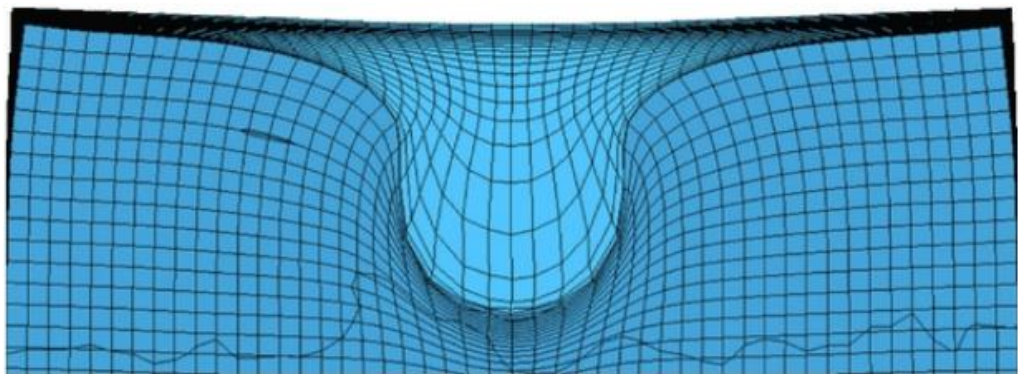


Figura 27. Deformación de la esponja. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

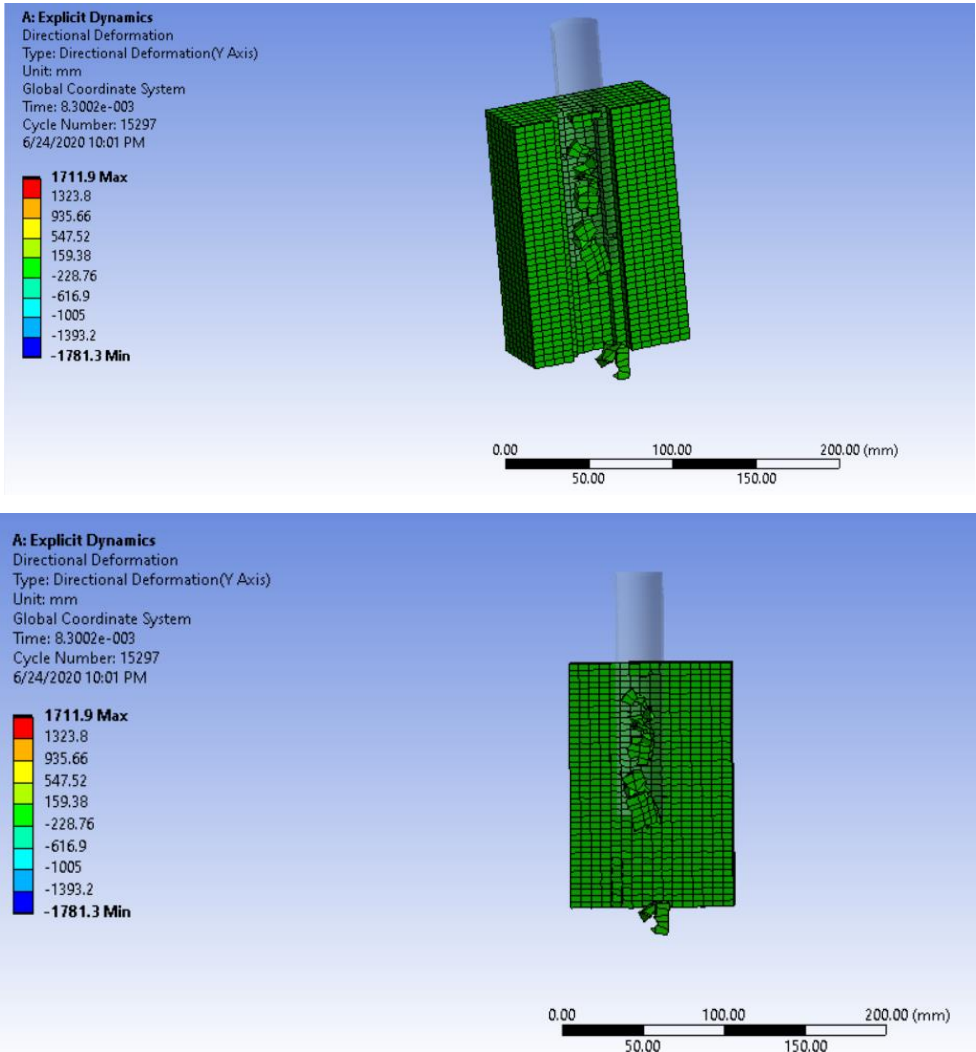


Figura 28. Deformación direccional de la esponja. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Figura 28. se aprecia como el tubo de corte ingresa a través de la esponja de poliestireno, arrancando de manera aleatoria partes de dicha esponja, sin lograr la finalidad que es un corte cilíndrico limpio.

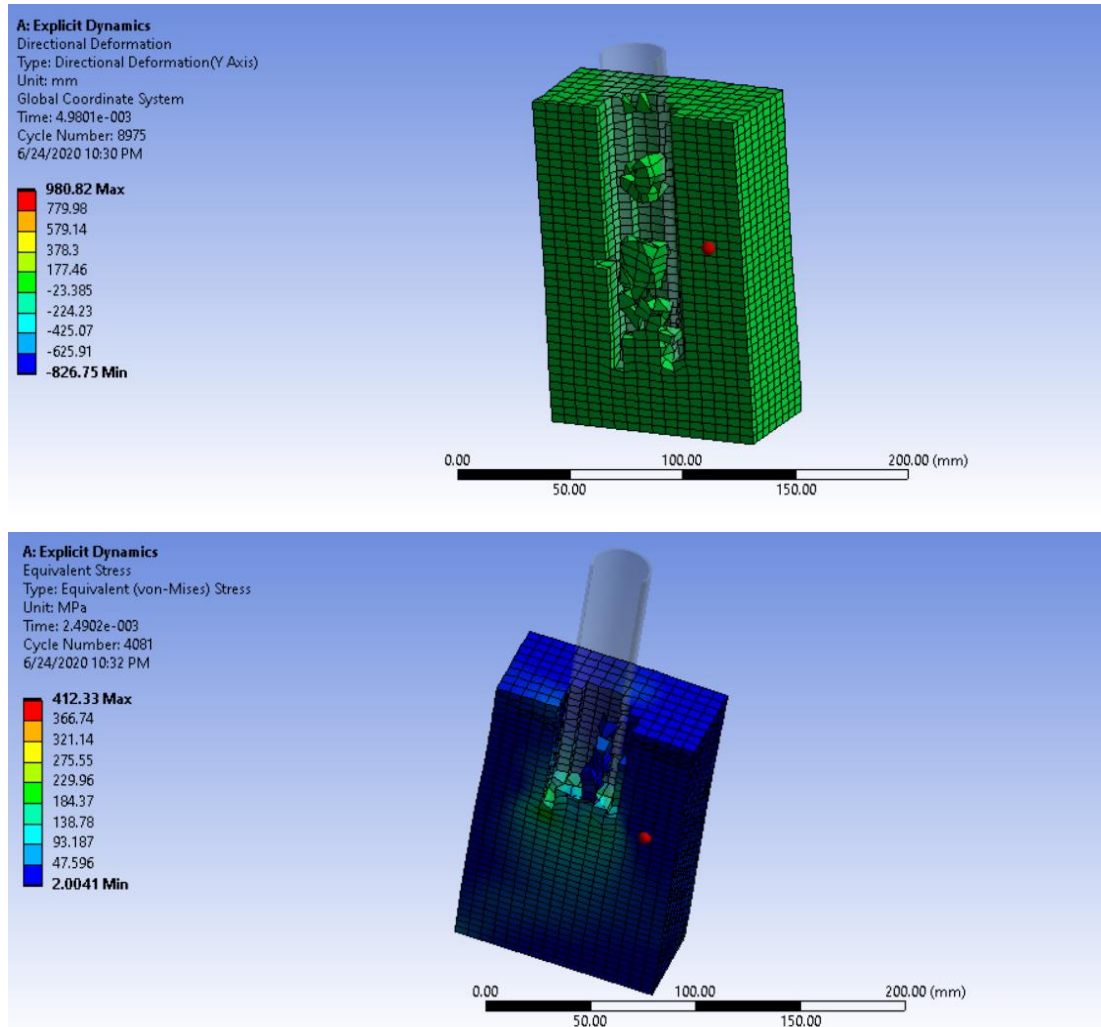


Figura 29. Deformación y esfuerzo de Von mises con aplanamiento de superficie de esponja.

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

El aplanamiento de la superficie de la esponja es evidente como se muestra en la Figura 29.

Es importante notar que los valores de deformación llegan a un máximo de 1711.9 mm, esto es debido a que, por el arranque de material, pequeños fragmentos salen desprendidas y se toman como deformaciones máximas.

El color verde en la Figura 29. indica que la deformación en la esponja se encuentra en el rango de los 150 mm tal como es su máximo espesor. Por la gran capacidad de deformación del material, no se llega a completar el corte, la esponja absorbe la fuerza proporcionada por la prensa, comprimiéndose y desprendiendo pedazos de esta aleatoriamente.

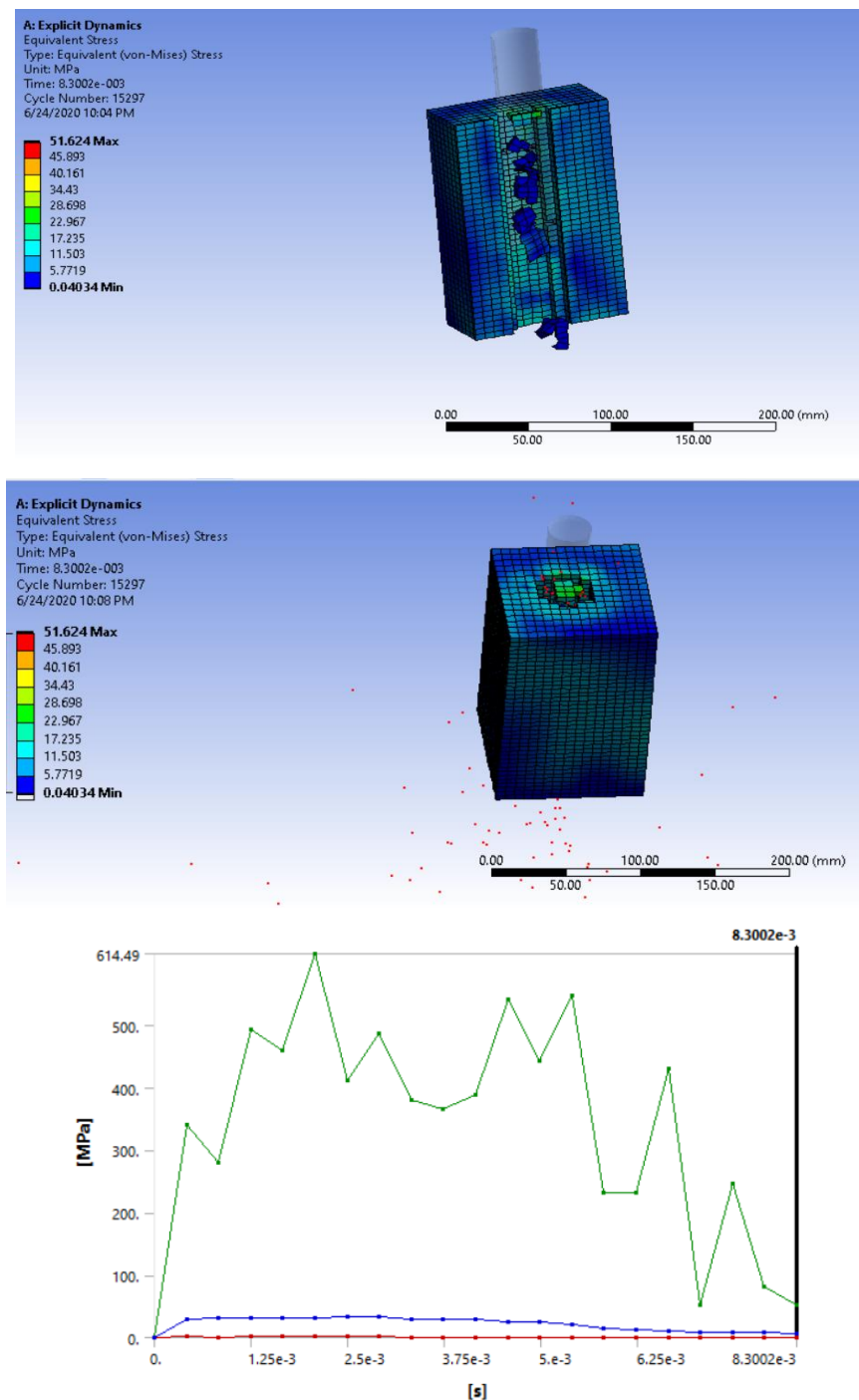


Figura 30. Esfuerzo en Mpa sobre esponja de poliestireno durante el corte. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Se observa en la Figura 30. que se obtiene un máximo de 51 Mpa de esfuerzo durante el corte, lo cual es bastante congruente obtener valores promedios por el tipo de material.

Nuevamente se pueden observar retazos de esponja que se desprenden de una manera aleatoria.

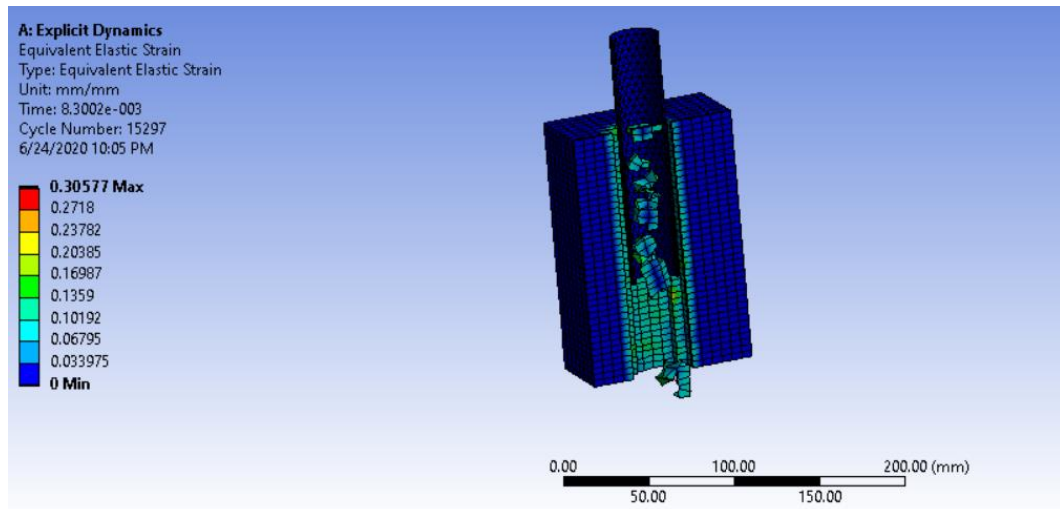


Figura 31. Deformación unitaria mm/mm. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Figura 31. se puede observar la deformación unitaria que llega a un máximo de 0.30, que corresponde al 30% de deformación. Esto indica que el material sobrepaso su rango elástico, lo que concuerda con el desprendimiento de pedazos de la esponja.

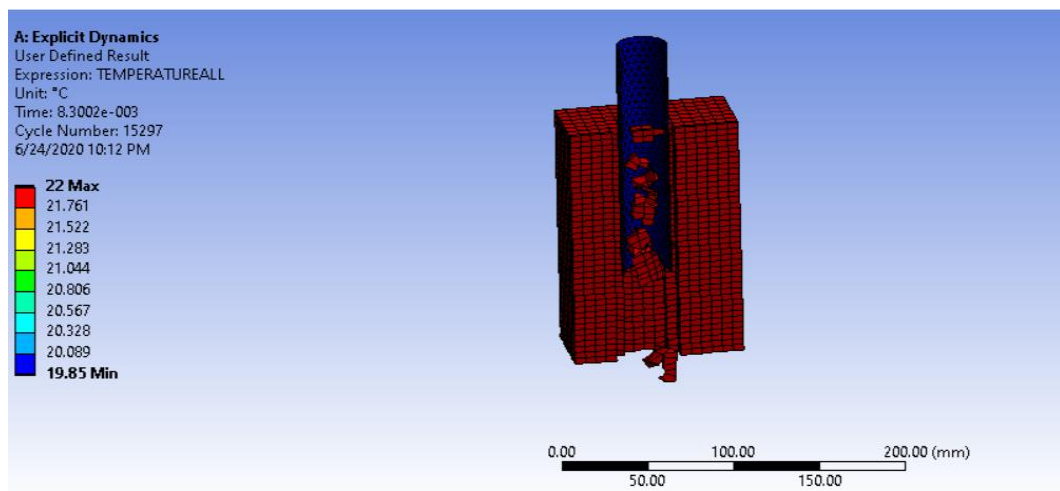


Figura 32. Aumento de temperatura en el material debido al impacto del tubo de corte. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Figura 32. se registra un aumento de aproximadamente 2.2 grados centígrados durante el proceso de corte.

3.3 Simulación de Corte por calentamiento al tubo por medio de niquelinas

3.3.1 Modelo a simular

En la Figura 33. se muestra el modelo a simular para probar el uso de las niquelinas para la transferencia de calor a los filos del tubo.

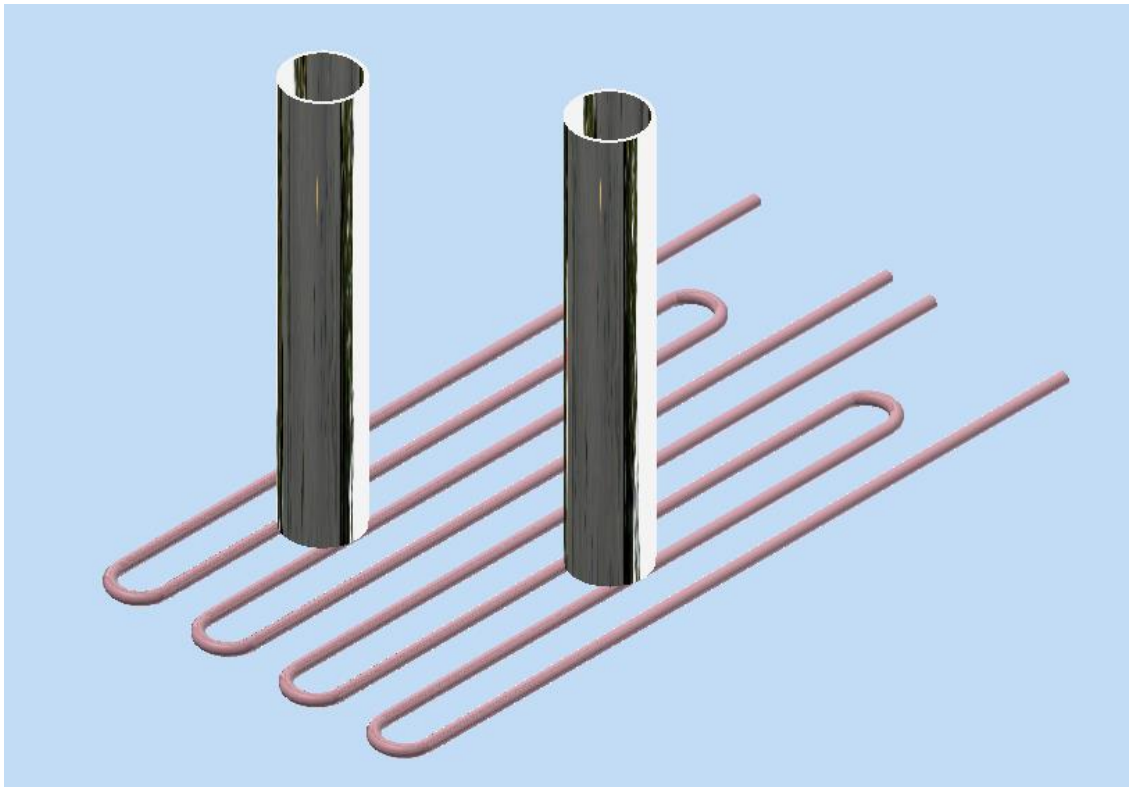


Figura 33. Modelo a simular, niquelinas. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

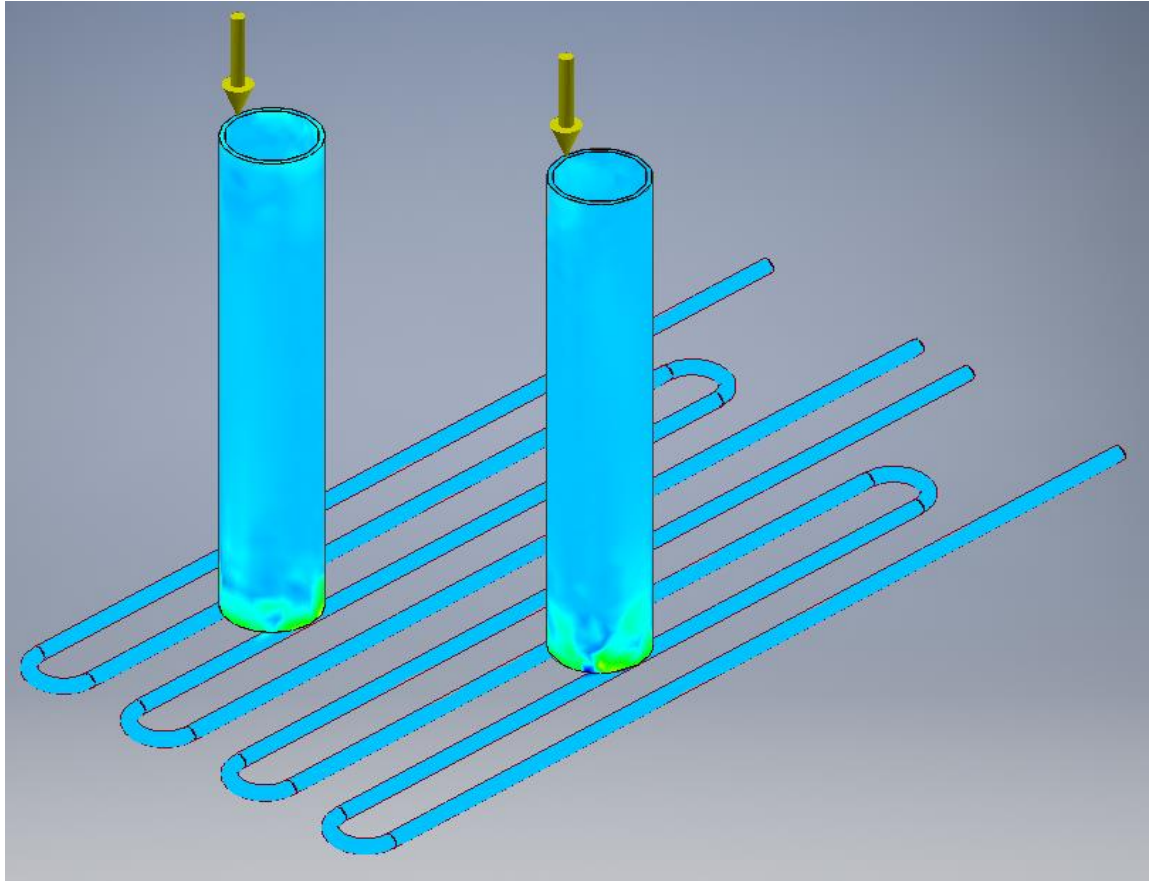


Figura 34. Contacto con las niquelinas sin encender. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Figura 34. se puede observar el contacto que existe entre las niquelinas y los tubos, apreciando que solo una parte mínima de los tubos llegan a contactarse con las niquelinas, lo cual, por términos de transferencia de calor, es perjudicial, ya que todo el calor generado por las niquelinas no es aprovechado para el corte, si no, es desperdiciado hacia el ambiente.

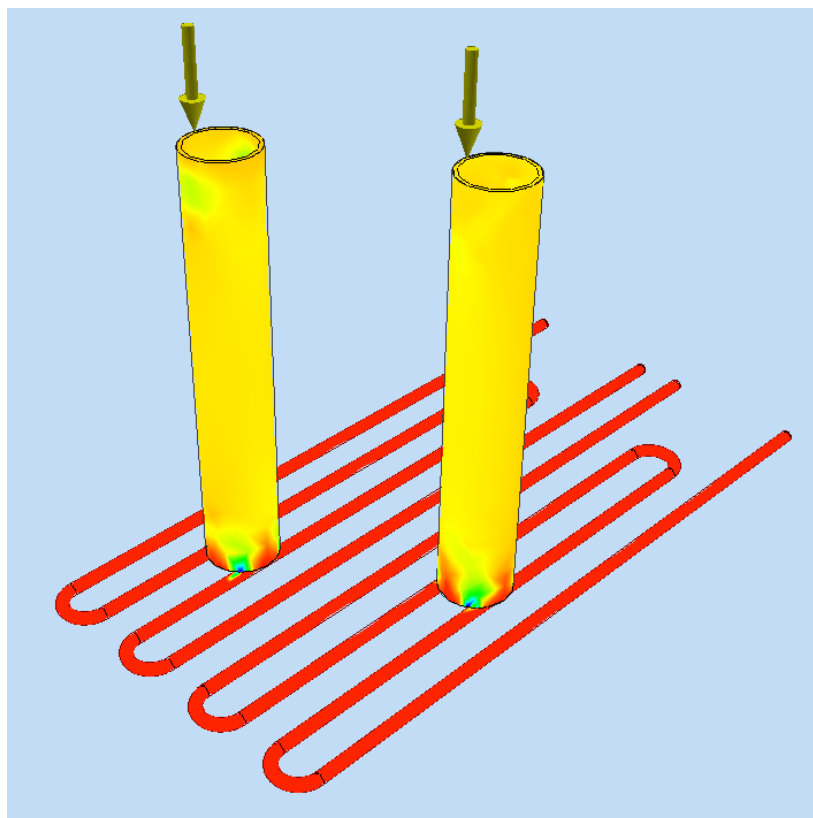


Figura 35. Contacto con las niquelinas calientes, con el tubo para realizar el calentamiento del tubo.

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Figura 35. se aprecia como los bordes del tubo están en contacto con las niquelinas calientes, sin lograr generar el calor necesario en la punta del tubo o cuchilla para realizar el corte.

Es importante notar que las niquelinas ya se encuentran al rojo vivo y no se produce el calor necesario al contacto del tubo, pero, como se lo mencionó anteriormente, existe una gran pérdida de calor hacia el ambiente, recurriendo en gastos excesivos de energía sin llegar a un calentamiento óptimo del tubo.

El color rojo en los extremos del tubo en la Figura 35. indica el poco calor que es absorbido por los extremos del tubo de las niquelinas. Dando como resultado un calentamiento no uniforme del tubo, lo cual no generará un corte circular completo.

3.4 Simulación de Corte por hilo de nicrom

3.4.1 Modelo a simular bordeando los extremos del tubo.

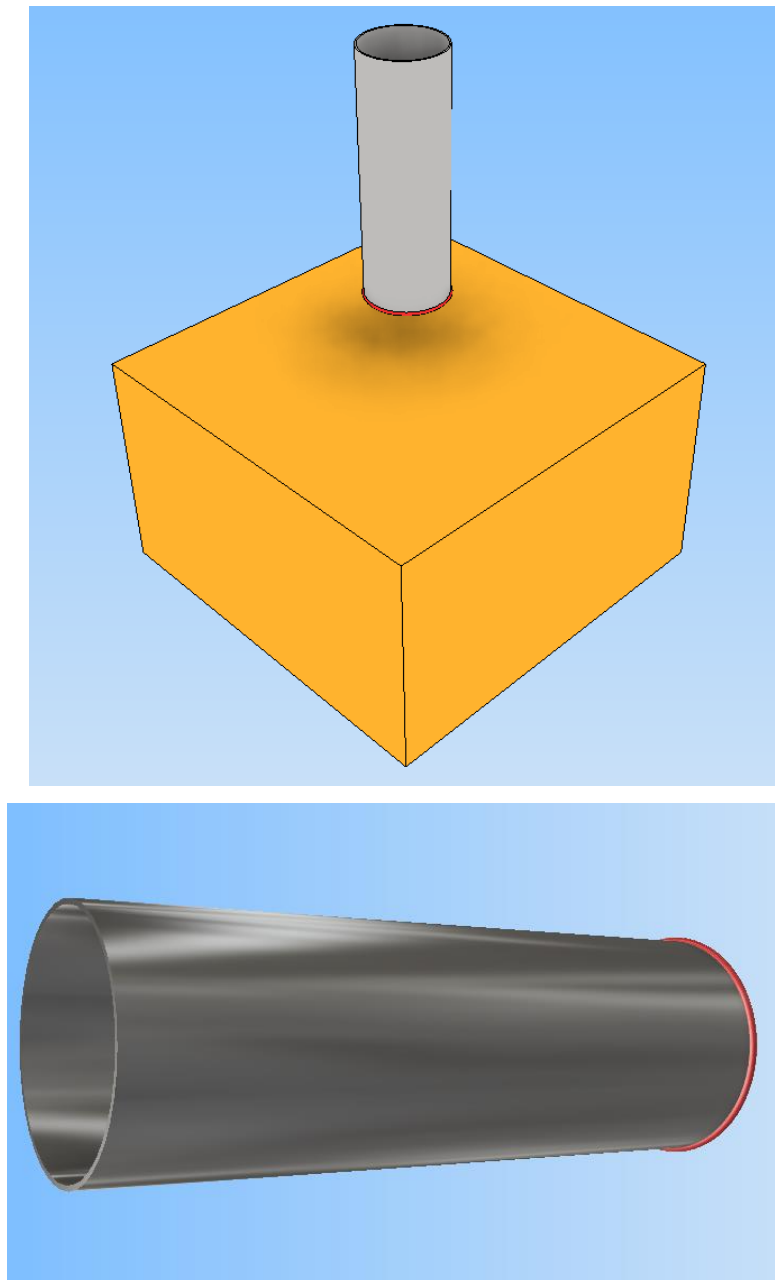


Figura 36. Modelo a simular, con hilo de nicrom caliente, en el extremo del tubo. Elaborado por:
David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Figura 36. se indica el tubo con el hilo de nicrom caliente en el extremo con el cual se logrará un corte más limpio por degradación de la esponja de poliestireno.

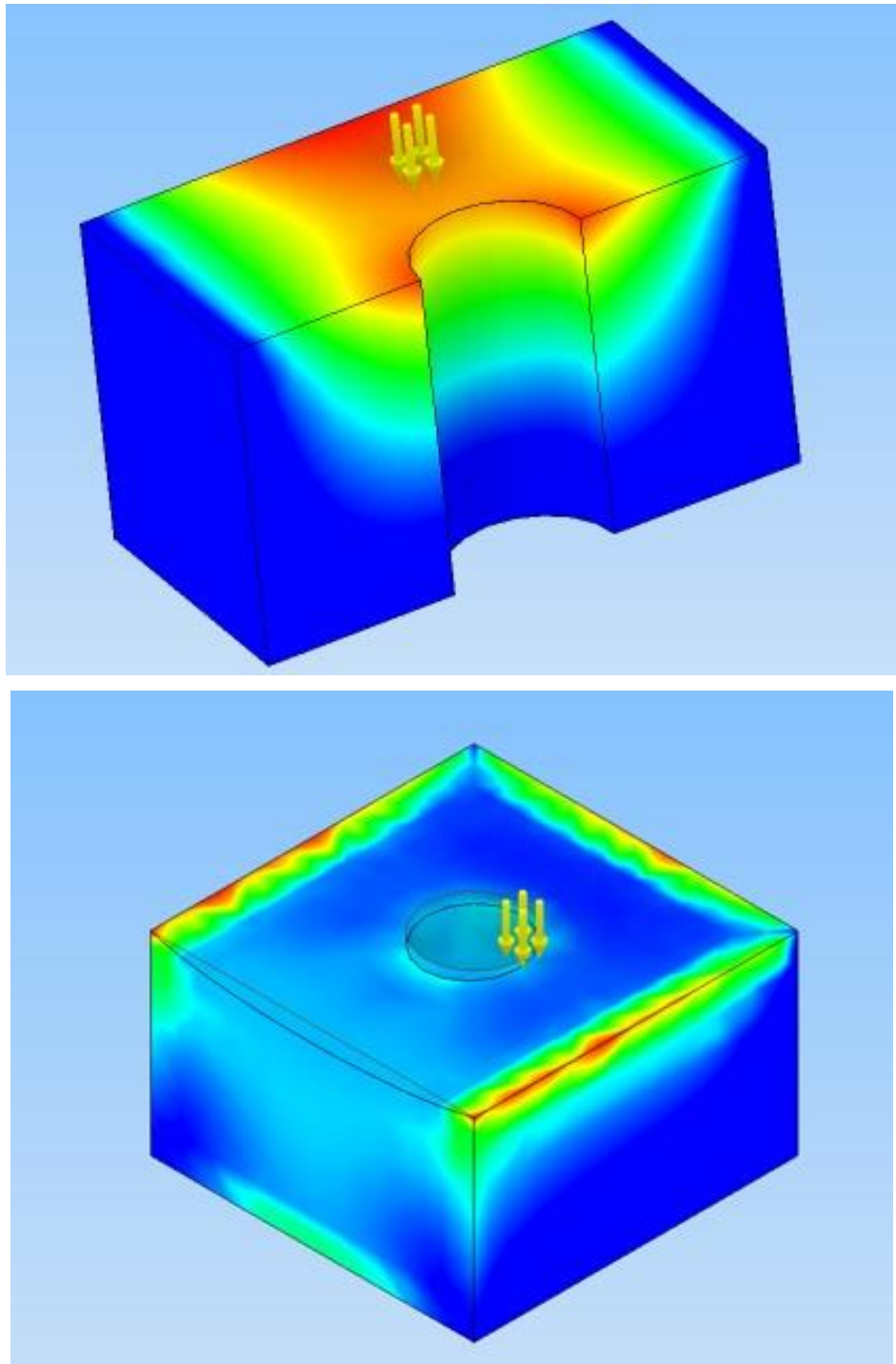


Figura 37. Corte realizado con el hilo de nicrom en la esponja de poliestireno. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

El color rojo en la Figura 37. indica la deformación y corte por donde paso el hilo de nicrom caliente, esto indica que el material cumplió con las expectativas de corte en el material.

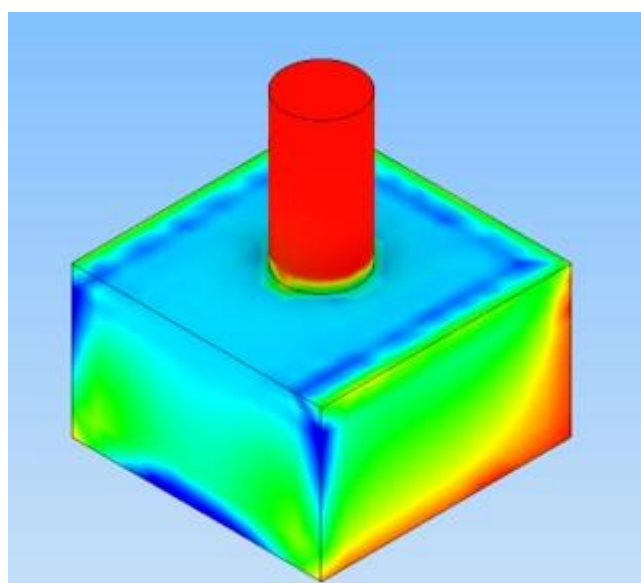
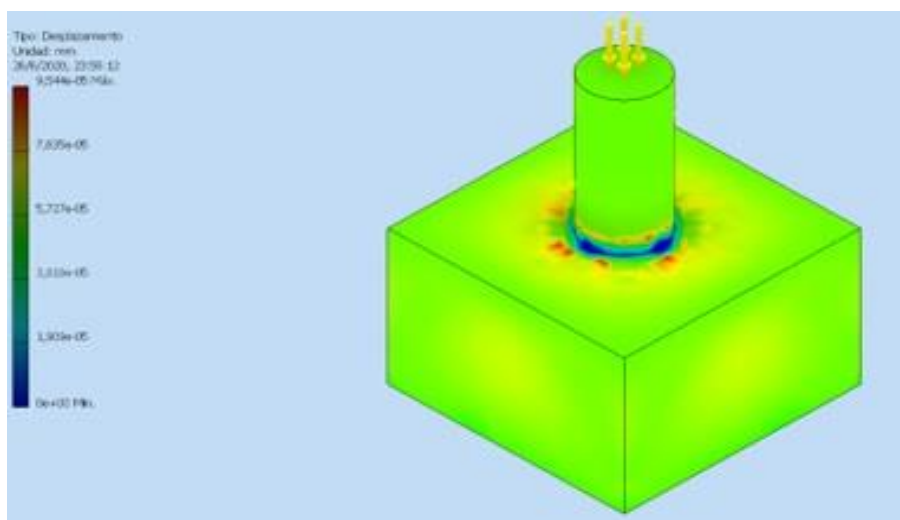
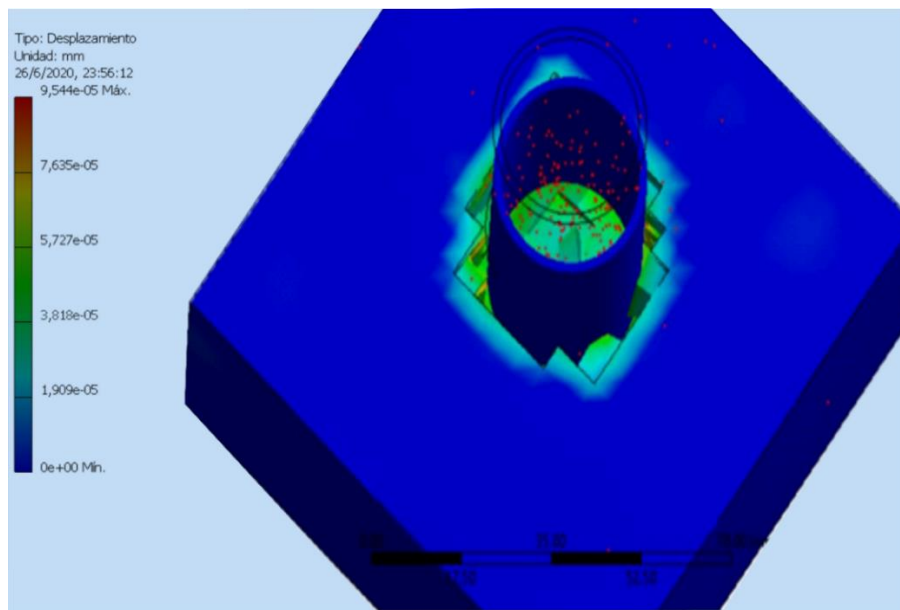


Figura 38. Deformación mínima al contacto con el tubo al realizar el corte con el hilo de nicrom.

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Nuevamente se observa pequeñas partículas desprendiéndose de la esponja que corresponde al contacto inicial, hilo con esponja, lo cual es normal debido al degradamiento de la esponja e inicio de corte de la misma.

En la Figura 39. se indica como resultado final de la alternativa seleccionada el desprendimiento del pedazo cilíndrico de la esponja requerido con un corte limpio.

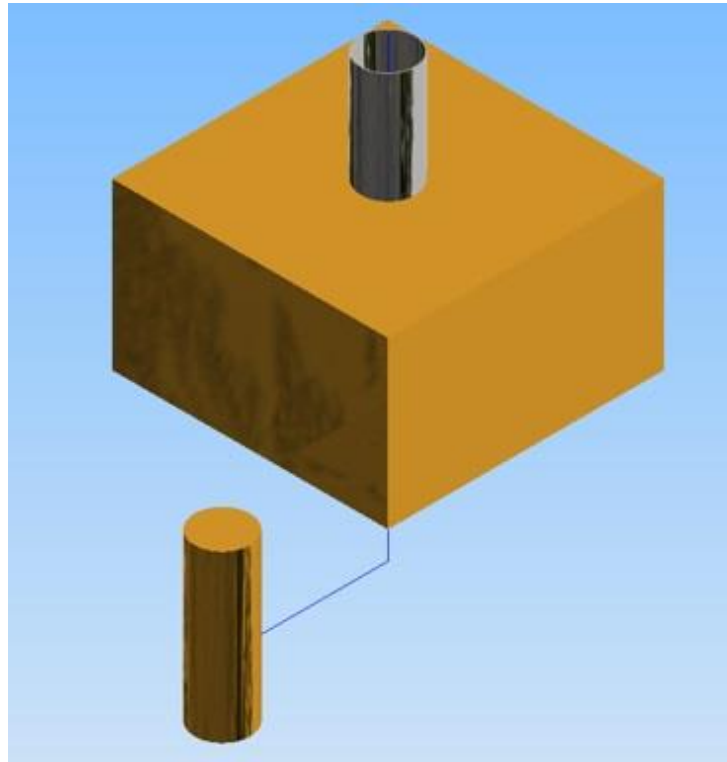


Figura 39. Resultado final, corte limpio del cilindro. Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Figura 39. se muestra la última simulación, con corte por hilo de nicrom, resultó ser la alternativa más apropiada y económica como se lo indicó en el Capítulo I, ya que genera un corte limpio sin desperdicios de energía hacia el ambiente, contrariamente al corte por cuchilla o niquelina.

3.5 Costos aproximados de fabricación

Para una posible fabricación de la máquina se requiere incurrir en gastos a base de la utilización de materia prima, elementos normalizados, horas de maquinaria, mano de obra, costo de ingeniería y varios.

3.5.1 Concepto básico de costos

Según Edward Menesby, dice que el costo tiene como concepto medir la cantidad de recursos que se van a usar hablando, técnicamente, en unos términos monetarios para dichas mediciones. Como pueden ser para la venta general o fabricación de un proyecto.

Los recursos que se emplean en la fabricación de un proyecto son materia prima, mano de obra, empaques, salarios del personal que se va a necesitar para dicha elaboración, suministros varios, un capital para adquirir el inventario y el equipo que se utilizará.

Estos recursos y definición de costo están relacionados al ámbito o proceso industriales [32].

3.5.2 Costos directos

Son todos los gastos que se relacionan con el proceso de fabricación de un proyecto.

Los costos directos incluyen:

- Materia prima
- Elementos Normalizados
- Mano de obra
- Maquinaria Utilizada

3.5.3 Costos de materia prima

En el proceso, en temas industriales, la materia prima es considera como la base de todo el proceso de fabricación de cualquier proyecto. Esto quiere decir que para cualquier comienzo de proceso de manufactura, se debe comenzar por el análisis de costo de materia prima, como pueden ser materia prima para transformar mediante soldaduras o uniones o materia prima, como ejes, para ser modificados.

Debido a eso la materia prima en un proceso de fabricación de un producto es la que genera el precio final de los productos elaboradas sumando los demás costos que esta lleva al construir [33].

Tabla 9. Costos detallados de la materia prima

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDADES	COSTO TOTAL USD
1	UPN 80 x 450 mm	3,530	Kg	20,00
2	Plancha de Acero ASTM.A36, 370x300x8mm	6,859	Kg	40,00
3	UPN 100 x 150 mm	2,820	Kg	7,00
4	Platina de Acero ASTM.A36, 2 plg x 8mm	1,838	Kg	15,00
5	Platina de Acero ASTM.A36, 1 plg x 6 mm	0,438	Kg	5,00
6	Ángulo de Acero ASTM.A36, 1 plg	1,451	Kg	20,00
7	Platina de Acero ASTM.A36, 2 plg x 5mm	0,447	Kg	10,00
8	Plancha de Acero ASTM.A36, de 180x240x6mm	2,91	Kg	20,00
9	Ángulo de Acero ASTM.A36, 2 plg	1,451	Kg	20,00
			Sub Total	157,00
			Iva 12%	18,84
			TOTAL	175,84

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Tabla 9. se engloba los materiales principales a utilizar dentro del desarrollo del proyecto, donde se utilizó una variedad de productos como UNP 8, planchas de acero, UPN 10, platinas de diferentes pulgadas, ángulo 1plg, el costo monetario para la adquisición de los productos fue de USD\$ 175,84.

3.5.4 Costo de elementos normalizados

Los costos detallados en la Tabla 10. se refieren a los elementos seleccionados por medio de cálculos, catálogos y características de cada elemento para dicha utilidad en la prensa a construir.

Tabla 10. Costos detallados de elementos normalizados

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	UNIDADES	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL USD
1	Tubo Inoxidable AISI.304, de 2plg x 1.5 x 180mm	6	Unidades	1,82	10,98
2	Tubo Inoxidable AISI.304, de 1 ¼ plg x 1.5 x 180mm	6	Unidades	1,10	6,60
3	Eje de Acero de Transmisión 1018, de Ø 5/8 plg x 350 mm	2,30	Kg	1,58	3,62
4	Eje de Acero de Transmisión 1018, Ø 1 ¼ plg x 110 mm	0,45	Kg	2,22	1,00
5	Tuerca de Acero negro de, ½ plg	5	Unidades	0,34	1,70
6	Perno hexagonal de Acero Negro, de ½ plg x 1 ½ plg	5	Unidades	0,25	1,25
7	Arandela Plana Galvanizada para perno de ½ plg	10	Unidades	0,085	0,85
8	Perno Allen galvanizado, M6 x 1 plg	10	Unidades	0,09	0,90

9	Perno Allen de Acero Negro, M 12 x 1 plg	4	Unidades	0,212	0,85
10	Tuerca hexagonal de Acero Negro, M12	4	Unidades	0,25	1,00
Sub Total					28,75
Iva 12%					3,45
TOTAL					32,20

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Tabla 10. se engloban los elementos principales a utilizar dentro del desarrollo del proyecto, el costo monetario para la adquisición de los productos fue de USD\$ 32,20.

3.5.5 Costo de maquinaria utilizada

Los costos detallados en la Tabla 11. se refieren a los tiempos empleados en las máquinas, herramientas en el proceso de fabricación de la prensa.

Tabla 11. Costos detallados de la maquinaria utilizada en la fabricación

ITEM	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD HORAS	COSTO POR HORA USD	COSTO TOTAL USD
1	Autógena	3	6	18,00
2	Amoladora	5	5	25,00
3	Torno	4	10	40,00
4	Taladro	5	8	40,00
5	Compresor	3	4	12,00
6	Soldadura	5	8	40,00
Sub Total				175,00
Iva 12%				21,00
TOTAL				196,00

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Tabla 11. se observa el costo de horas máquina utilizados para el proyecto se estableció en base a las horas productivas, por el valor de USD\$ 196,00, el valor es distribuido en base a las horas maquina utilizadas.

3.5.6 Costo de mano de obra

Los costos detallados en la Tabla 12. se refieren al personal encargado en dichas áreas en el proceso de fabricación de la prensa.

Tabla 12. Costos detallados de la mano de obra para la fabricación

ITEM	DESCRIPCIÓN	SALARIO HORAS	HORAS EMPLEADAS	COSTO TOTAL USD
1	Técnico Mecánico	4,00	8	32,00
2	Soldador	3,50	5	17,50
3	Tornero	3,50	4	14,00
4	Ayudante	2,50	8	20,00
			Sub Total	83,50
			Iva 12%	10,02
			TOTAL	93,52

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Tabla 12. se observa el costo utilizado para la Mano de Obra que trabajo directamente en la fabricación de la maquina fue de USD\$ 93.52, este valor fue distribuido en base a las horas empleadas para el desarrollo de la maquinaria.

3.5.7 Total de costos directos

Tabla 13. Costos totales directos, detallados

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL USD
1	Total, Materia Prima	175,84
2	Total, elementos normalizados	32,20

3	Total, costo de maquinado	93,52
4	Total, mano de obra	196,00
TOTAL		497,56

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Tabla 13. se observa los costos directos utilizados para el desarrollo del proyecto está la materia prima, mano de obra, horas máquina y los elementos normalizadas. Este conjunto de elementos es de principal ayuda para una posible fabricación de la prensa manual de corte de poliestireno. Esto puede generar un costo total de USD\$ 497,56 incluido IVA.

3.5.8 Costos indirectos

Los costos indirectos incluyen:

- Costo de ingeniería
- Costos varios

Tabla 14. Costos indirectos, detallados

ITEM	DESCRIPCIÓN	Porcentajes directos %	COSTO TOTAL USD
1	Ingeniería, costo	0.3	149,27
2	Varios	0.1	49,76
TOTAL			199,03

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Tabla 14. se observa los costos indirectos son aquellos que no se encuentran vínculos directamente con la fabricación de la maquinaria, pero de igual forma cumplen una función dentro de la fabricación de este, el costo monetario fue por el valor de USD\$ 199,03, distribuidos en base a los porcentajes directos.

3.6 Costo total de la prensa

En la Tabla 15. El costo total del diseño y fabricación de la prensa se determina con la suma de los costos directos e indirectos los cuales generan un costo total de USD\$ 696,59 incluido IVA.

Tabla 15. Costo total de la construcción de la prensa.

ITEM	DESCRIPCIÓN	COSTO TOTAL USD
1	Costos directos	497,56
2	Costos indirectos	199,03
TOTAL		696,59

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

3.7 Proyección de ahorro anual

Este análisis está basado en la producción de corte del cilindro anual para la carrera de biotecnología, según el registro elaborado en la universidad, se registró un total de 80 estudiantes en la carrera los cuales requieren 3 cilindros de esponja de poliestireno por mes, con lo cual se requieren un total de 960 cilindros de esponja por periodo académico y 1920 anuales.

Cabe recalcar que los tres cilindros son usados a lo largo del semestre.

Tabla 16. Proyección de ahorro anual

AÑO	COSTO UNITARIO DE CORTE DE ESPONJA DE POLIESTIRENO	PRODUCCIÓN ANUAL	COSTO TOTAL USD
1	0,25 ctvs.	1920	\$ 480,00
2	0.30 ctvs.	1920	\$ 576,00
3	0.35 ctvs.	1920	\$ 672,00

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

En la Tabla 16. se observa el costo unitario por cada corte de esponja de poliestireno, debido a que el proyecto no va a generar ningún tipo de ingreso, solo se procede a realizar el análisis del beneficio de ahorro que va a obtener la Universidad.

3.8 Valor Actual neto (VAN)

El VAN y TIR son dos fórmulas que se usan para calcular la viabilidad que tiene un proyecto sea empresarial o estudiantil o independiente.

Con la Ecuación 32 se calculará la rentabilidad que tienen la fabricación de la prensa manual para corte de poliestireno.

$$VAN = -I_i + \sum_{t=1}^n \frac{VF}{(1-r)^t} \quad (32)$$

Donde:

I_i = Inversión Inicial

VF=Flujo de ingresos proyectados

R= Tasa de descuento

T= Tiempo

Tabla 17. Criterios para proyectos VAN.

CRITERIO	DESCRIPCIÓN
$VAN > 0$	El proyecto genera beneficios.
$VAN = 0$	El proyecto no genera beneficios y tampoco pérdidas.
$VAN < 0$	El proyecto genera pérdidas.

Elaborado por: David Rovayo y Kevin Velastegui

Utilizando la Ecuación 32 para obtener el Van de nuestro proyecto:

$$VAN = -696.59 + \frac{480}{(1 - 0.06)^1} + \frac{576}{(1 - 0.06)^2} + \frac{672}{(1 - 0.06)^3}$$

$$VAN = 1.274,99$$

3.9 Tasa interna de retorno (TIR)

Mediante el uso de la Ecuación 32 se calculará el tiempo que se va a emplear para recuperar la inversión inicial, la cual fue utilizada para la fabricación de la prensa manual para corte de poliestireno.

Despejando de la Ecuación 32 la R, para obtener la tasa interna de retorno:

$$VAN = -I_i + \sum_{t=1}^n \frac{VF}{(1 - R)^t}$$

$$-696.59(1 - R)^3 + 480(1 - R)^2 + 576(1 - R)^1 + 672 = 0$$

$$R = 0.59 \approx 59\%$$

3.10 Índice de rentabilidad

Mediante el uso de la Ecuación 33 se refleja el valor neto de cada dólar que se invirtió en el proyecto. El criterio para el índice de rentabilidad se acepta si es mayor a 1.

$$IR = 1 + \frac{VAN}{I_i} \quad (33)$$

Utilizando la Ecuación 33 se determina el índice de rentabilidad:

$$IR = 1 + \frac{1274.99}{696.59}$$

$$IR = 2.83$$

3.11 Retorno de Inversión

Utilizando la Ecuación 34 se obtiene la relación que hay entre la inversión y el ingreso generado en el primer año.

$$Ri = \frac{Ci}{Ig} \quad (34)$$

Mediante el uso de la Ecuación 34, se determina el tiempo de retorno de la inversión.

$$Ri = \frac{696.59}{480} = 1 \text{ año y 4 meses (3 periodos académicos)}$$

Como resultado se obtiene que después de 1 año 4 meses, se cubrirá lo invertido en el proyecto.

CONCLUSIONES

Se identificó, mediante un análisis de alternativas, que la opción más viable para el diseño de una prensa manual económica que cumpla con el corte de poliestireno fue una prensa manual con un corte por medio de hilo de nicrom, con una valoración excelente de 20 puntos.

Se diseñó los elementos estructurales de la prensa con criterios estéticos y de resistencia de materiales con las fuerzas identificadas, manteniendo factores de seguridad superiores a 14.

Con simulaciones mediante elementos finitos, se validó que la estructura de la prensa tendrá un desplazamiento máximo de 0,08 mm en la parte superior de la columna. Un valor casi nulo que la estructura soportará perfectamente.

Se realizó el diseño y simulación de la prensa de corte para poliestireno, demostrando la fiabilidad en la simulación.

De acuerdo con la simulación, se registró que la alternativa de corte seleccionada en este caso, el hilo de nicrom, es la mejor opción de corte; siendo la única que logró un corte cilíndrico óptimo sin desprendimiento no deseado del material. Además, se observó que con las otras alternativas como el corte por niquelinas o corte a presión no se consiguió el corte deseado debido al espesor y a la gran capacidad de deformación del material que se desea cortar.

Se observó que el operario no tendrá que hacer grandes esfuerzos para levantar la matriz de corte ya que se procuró mantener un diseño ergonómico en la palanca de la prensa de poliestireno.

Se determinó mediante un análisis económico del mercado ecuatoriano que el costo de fabricación total de dicha prensa de corte de poliestireno es de \$ 700, el cual es un precio accesible para la investigación a futuro de la Carrera de Biotecnología de la Universidad Politécnica Salesiana.

RECOMENDACIONES

Para obtener un corte limpio en la esponja de poliestireno se recomienda el uso de hilo de nicrom número 40, el cual mediante simulación dió mejores resultados.

Al momento de usar los programas para realizar las simulaciones, buscar adaptar un modelo de mallado fino adecuado para la esponja de poliestireno, ya que si no se encuentra de esta manera, el programa puede generar resultados erróneos.

Para obtener una fabricación segura y estética se debe unir la columna en la placa con un cordón continuo de soldadura.

Para una operación continua y efectiva el operario debe procurar mantener una velocidad de corte del hilo de nicrom de 1cm/s, ya que con el calor generado y la velocidad recomendada se logrará el corte deseado.

Se recomienda realizar una limpieza del hilo de nicrom con una franela de algodón luego de su funcionamiento, procurando que el hilo se haya enfriado en su totalidad.

Para mantener un corte óptimo y uniforme se recomienda cambiar el hilo de nicrom, bimestralmente.

Se recomienda mantener una lubricación anual de las guías de la prensa para no tener inconvenientes al momento de realizar el corte.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] R. Mott, Mecánica de fluidos, Mexico: Pearson Education, 2006.
- [2] A. Pytel y F. Singer, Resistencia de materiales, Mexico: Harla, 1982.
- [3] D. Mosby, cizallamiento, Ediciones Hancourt, 1999.
- [4] A. Güemes Gordo y N. M. Piris, Ciencia de materiales para ingenieros, Madrid: Pearson Education, 2012.
- [5] F. Carrasqueño López, Fundamentos de polímeros, Mérida: Universidad de los Andes, 2004.
- [6] Venemedia, «Poliestireno,» 26 Julio 2019. [En línea]. Available: <https://conceptodefinicion.de/poliestireno/>. [Último acceso: 2 Octubre 2019].
- [7] SlideShare, «SlideShare,» 30 enero 2007. [En línea]. Available: https://es.slideshare.net/tu_diosa/propiedades-de-los-materiales. [Último acceso: 30 marzo 2020].
- [8] hotwiresystems, «ALAMBRE DE NICROM,» Strongest in Estonia, Estonia, 2013.
- [9] É. Hermida, Polímeros, Buenos Aires: Ministerio de Educación - Instituto Nacional de Educación Tecnológica, 2011.
- [10] M. D. Samper, M. I. Rico, S. Ferrandiz y J. López, «REDUCCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL RESIDUO DE POLIESTIRENO EXPANDIDO,» de *I Simposio Iberoamericano de Ingeniería de Residuos*, Castellón, 2008.
- [11] P. V. Saltos Barreiro, «Diseño del proceso de reciclaje del poliestireno expandido por el metodo de disolución-precipitación,» EPN, Quito, 2015.
- [12] F. Billmeyer, Ciencia de los polímeros, Barcelona: Reverté, 2004.
- [13] G. Bavaresco, «Prensas,» GABP.
- [14] E. Avallone, Manual del ingeniero mecánica Marks, Editorial Mc. Graw Hill, 1995.
- [15] P. W. LLAMUCA, «“IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA,» UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO, AMBATO, 2010.
- [16] S. Kalpakjian y S. Schmid, Manufactura, ingeniería y tecnología, Mexico: Pearson Education, 2002.

- [17] Maquituls, «Maquituls,» 15 marzo 2017. [En línea]. Available: <http://www.maquituls.es/noticias/prensas-hidraulicas-historia-usos-ventajas-y-desventajas/>. [Último acceso: 29 marzo 2020].
- [18] D. Cárdenas Serrano, Diseño de una prensa neumática para la elaboración de ensambles de perillas de cocina en la empresa TEXTICOM CIA. LTDA., Quito: UISEK, 2018.
- [19] San Juan, «San Juan,» 2015. [En línea]. Available: <https://www.rdsanjuan.com/prensa-neumatica-vs-prensa-manual/>. [Último acceso: 29 marzo 2020].
- [20] m. Pressen, «directindustry,» PRENSA DE PALANCA, 10 04 2010. [En línea]. Available: <https://www.directindustry.es/prod/maeder-pressen/product-14224-1567909.html>. [Último acceso: 04 12 2019].
- [21] SERVICIO DE PREVENCIÓN UNIVERSIDAD DE EXTREMADURA, «FICHAS DE SEGURIDAD,» FREMAP.
- [22] E. Simmons , «FOAM / PLASTIC,» *SIMMONS*, vol. 1, nº 1, p. 1, 2018.
- [23] Personal de wikiHow, «Cómo cortar espuma de poliestireno,» wikiHow, 2018.
- [24] D. Páez, H. Condolo y C. ING.Romo, Construcción de un reservorio y calentador de agua en la planta de un domicilio, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2012.
- [25] resistenciaselectricasquito, «Niqelinas,» *resistenciaselectricasquito*, vol. 1, nº 1, p. 1, 2019.
- [26] V. Gómez López, Diseño, prototipado y validación funcional de una CNC de porex de 4 ejes, Catalunya: Universitat Politècnica de Catalunya, 2019.
- [27] AISC, Manual de Construcciones de Acero, Estados Unidos: AISC, 2010.
- [28] R. Budynas y K. Nisbett, Diseño en ingeniería mecánica de Shigley, Mexico: McGraw-Hill, 2008.
- [29] J. Gere y B. Goodno, Mecánica de materiales, Mexico: Cengage Learning, 2009.
- [30] J. A. Diego-Mas, «Ergonautas,» Universitat Politècnica de Valencia, 2019. [En línea]. Available: <https://www.ergonautas.upv.es/metodos/fuerzas/fuerza-maxima-ayuda.php>. [Último acceso: 17 Agosto 2020].
- [31] DIPAC, «DIPAC,» 2016. [En línea]. Available: <http://www.dipacmanta.com/platinas>. [Último acceso: 14 agosto 2020].

- [32] E. Menesby, «MARCO TEORICO DE LOS DE COSTOS,» de *COSTOS Y PRESUPUESTOS*, Peru, Universidad Peruana los Andes, p. 7.
- [33] M. E. Raffino, «Materia Prima,» Concepto.de, 29 11 2019. [En línea]. Available: <https://concepto.de/materia-prima/>. [Último acceso: 01 04 2020].
- [34] Emagister, «Efecto Joule,» EcuRed, 2018.

ANEXOS

Anexo 1. Pernos disponibles en el mercado ecuatoriano

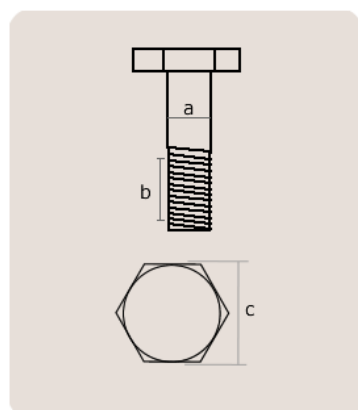


Productos

Ayuda Técnica

Contacto

Equivalencias Pernos Pulgadas Norma SAE



Temas Relacionados

MEDIDA	DIÁMETRO EN PLG (A)	DIÁMETRO EN MM (A)	ROSCA GRUESA HILOS X PLG (B)	ROSCA FINA HILOS X PLG (B)	CABEZA LLAVE HEX PLG (C)
1/8"	0.125	3.175	40	44	Tornillo
5/32"	0.156	3.969	32	36	Tornillo
3/16"	0.188	4.763	24	32	Tornillo
1/4"	0.250	6.350	20	28	7/16"
5/16"	0.313	7.938	18	24	1/2"
3/8"	0.375	9.525	16	24	9/16"
7/16"	0.438	11.113	14	20	5/8"
1/2"	0.500	12.700	13	20	3/4"
5/8"	0.625	15.875	11	18	15/16"
3/4"	0.750	19.050	10	16	1 1/8"
7/8"	0.875	22.223	9	14	1 5/16"
1"	1.000	25.400	8	14	1 1/2"
1 1/8"	1.125	28.576	7	12	1 11/16"
1 1/4"	1.250	31.750	7	12	1 7/8"
1 1/2"	1.500	38.100	6	12	2 1/16"

Anexo 2. Perfiles W disponibles en el mercado ecuatoriano

Productos Laminados Vigas IPN











Designación	Dimensiones							Área	Peso	Propiedades Elásticas						Módulo Plástico		Cons Tors
	Altura		Ala		Distancias					Eje y-y			Eje x-x			Zx	Zy	
	h	s	b	t	r1	r2	d			Ix	Sx	rx	Iy	Sy	ry			
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm²	kg/m	cm⁴	cm³	cm	cm⁴			
IPN 80	80,00	3,90	42,00	5,90	3,90	2,30	59,00	7,57	5,94	77,80	19,50	3,20	6,29	3,00	0,91	22,80	4,99	0,87
IPN 100	100,00	4,50	50,00	6,80	4,50	27,00	75,00	10,60	8,34	171,00	34,20	4,01	12,20	4,88	1,07	39,80	8,09	1,60
IPN 120	120,00	5,10	58,00	7,70	5,10	3,10	92,00	14,20	11,10	328,00	54,70	4,81	21,50	7,41	1,23	63,60	12,30	2,71
IPN 140	140,00	5,70	66,00	8,60	5,70	3,40	109,00	18,20	14,30	573,00	81,90	5,61	35,20	10,70	1,40	95,40	17,90	4,32
IPN 160	160,00	6,30	74,00	9,50	6,30	3,80	125,00	22,80	17,90	935,00	117,00	6,40	54,70	14,80	1,55	136,00	24,90	6,57
IPN 180	180,00	6,90	82,00	10,40	6,90	4,10	142,00	27,90	21,90	1450,00	161,00	8,20	81,30	19,80	1,71	187,00	33,20	9,58

Anexo 3. Canales C disponibles en el mercado ecuatoriano

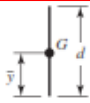
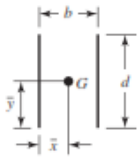
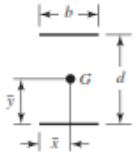
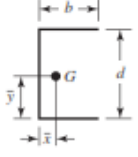
Productos Laminados Vigas UPN (Perfil C Estándar)

Designación	Dimensiones							Área	Peso	Propiedades Elásticas						Cons Tors
	Altura		Ala		Distancias					Eje y-y			Eje x-x			
	h	s	b	t	r1	r2	d			Ix	Sx	rx	Iy	Sy	ry	Jt
	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm			cm ²	kg/mt	cm ⁴	cm ³	cm	cm ⁴	cm ³
UPN 80	80,00	6,00	45,00	8,00	8,00	4,00	46,00	11,00	8,64	106,00	26,50	3,10	19,40	6,36	1,33	2,16
UPN100	100,00	6,00	50,00	8,50	8,50	4,50	64,00	13,50	10,60	206,00	41,20	3,91	29,30	8,49	1,47	2,81
UPN120	120,00	7,00	55,00	9,00	9,00	4,50	82,00	17,00	13,40	364,00	60,037,00	4,62	43,20	11,10	1,59	4,15
UPN140	140,00	7,00	60,00	10,00	10,00	5,00	98,00	20,40	16,00	605,00	86,40	5,45	62,70	14,80	1,75	5,68
UPN160	160,00	7,50	65,00	10,50	10,50	5,50	115,00	24,00	18,80	925,00	116,00	6,21	85,30	18,30	1,89	7,39
UPN180	180,00	8,00	70,00	11,00	11,00	5,50	133,00	28,00	22,00	1350,00	150,00	6,95	114,00	22,40	2,02	9,55

Anexo 4. Especificaciones SAE para pernos de acero

Grado SAE núm.	Intervalo de tamaños, de prueba inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima,* kpsi	Resistencia mínima a la tensión,* kpsi	Resistencia mínima a la fluencia,* kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{4}$ - 2	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
	$\frac{7}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	33	60	36		
4	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
	$1\frac{1}{8}$ - $1\frac{1}{2}$	74	105	81		
5.2	$\frac{1}{4}$ -1	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4}$ - $1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono T y R	
8.2	$\frac{1}{4}$ -1	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

Anexo 5. Propiedades flexionantes de la soldadura de filete

Soldadura	Área de la garganta	Ubicación de G	Segundo momento unitario del área
	$A = 0.707hd$	$\bar{x} = 0$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{12}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^3}{6}$
	$A = 1.414hd$	$\bar{x} = b/2$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{bd^2}{2}$
	$A = 0.707h(2b + d)$	$\bar{x} = \frac{b^2}{2b + d}$ $\bar{y} = d/2$	$I_u = \frac{d^2}{12}(6b + d)$

Anexo 6. Propiedades de los canales tipo C, manual AISC

CHANNELS

AMERICAN STANDARD

Dimensions

The diagram illustrates the cross-section of a channel with various dimensions labeled. The top flange has a thickness t_f and a width b_f . The web has a thickness t_w . The total depth is d . The distance from the outer face of the flange to the center of the web is T . The distance from the center of the web to the outer face of the flange is X . The distance from the center of the web to the inner face of the flange is e_o . The distance from the center of the web to the inner face of the flange is Y . The distance from the center of the web to the inner face of the flange is $Grip$.

Designation	Area <i>A</i>	Depth <i>d</i>	Web			Flange				Distance		Grip	Max. Flg. Fas- ten- er
			Thickness <i>t_w</i>	$\frac{t_w}{2}$	Width <i>b_f</i>	Average thickness <i>t_f</i>	<i>T</i>	<i>k</i>					
	in. ²	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.	in.		
C 15×50	14.7	15.00	0.716	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	3.716	3%	0.650	$\frac{1}{8}$	12%	$\frac{1}{8}$	1	
×40	11.8	15.00	0.520	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	3.520	3%	0.650	$\frac{1}{8}$	12%	$\frac{1}{8}$	1	
×33.9	9.96	15.00	0.400	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	3.400	3%	0.650	$\frac{1}{8}$	12%	$\frac{1}{8}$	1	
C 12×30	8.82	12.00	0.510	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	3.170	3%	0.501	$\frac{1}{8}$	9%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
×25	7.35	12.00	0.387	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	3.047	3	0.501	$\frac{1}{8}$	9%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
×20.7	6.09	12.00	0.282	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2.942	3	0.501	$\frac{1}{8}$	9%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
C 10×30	8.82	10.00	0.673	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	3.033	3	0.436	$\frac{1}{8}$	8	1	$\frac{3}{8}$	
×25	7.35	10.00	0.526	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	2.886	2%	0.436	$\frac{1}{8}$	8	1	$\frac{3}{8}$	
×20	5.88	10.00	0.379	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	2.739	2%	0.436	$\frac{1}{8}$	8	1	$\frac{3}{8}$	
×15.3	4.49	10.00	0.240	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	2.600	2%	0.436	$\frac{1}{8}$	8	1	$\frac{3}{8}$	
C 9×20	5.88	9.00	0.448	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2.648	2%	0.413	$\frac{1}{8}$	7%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
×15	4.41	9.00	0.285	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2.485	2%	0.413	$\frac{1}{8}$	7%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
×13.4	3.94	9.00	0.233	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	2.433	2%	0.413	$\frac{1}{8}$	7%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
C 8×18.75	5.51	8.00	0.487	$\frac{1}{2}$	$\frac{1}{4}$	2.527	2%	0.390	$\frac{1}{8}$	6%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
×13.75	4.04	8.00	0.303	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2.343	2%	0.390	$\frac{1}{8}$	6%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
×11.5	3.38	8.00	0.220	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	2.260	2%	0.390	$\frac{1}{8}$	6%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
C 7×14.75	4.33	7.00	0.419	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	2.299	2%	0.366	$\frac{1}{8}$	5%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
×12.25	3.60	7.00	0.314	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	2.194	2%	0.366	$\frac{1}{8}$	5%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
× 9.8	2.87	7.00	0.210	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	2.090	2%	0.366	$\frac{1}{8}$	5%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
C 6×13	3.83	6.00	0.437	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	2.157	2%	0.343	$\frac{1}{8}$	4%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
×10.5	3.09	6.00	0.314	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	2.034	2	0.343	$\frac{1}{8}$	4%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
× 8.2	2.40	6.00	0.200	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	1.920	1%	0.343	$\frac{1}{8}$	4%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
C 5× 9	2.64	5.00	0.325	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	1.885	1%	0.320	$\frac{1}{8}$	3%	$\frac{1}{4}$	$\frac{3}{8}$	
× 6.7	1.97	5.00	0.190	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	1.750	1%	0.320	$\frac{1}{8}$	3%	$\frac{1}{4}$	—	
C 4× 7.25	2.13	4.00	0.321	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	1.721	1%	0.296	$\frac{1}{8}$	2%	$\frac{1}{8}$	$\frac{3}{8}$	
× 5.4	1.59	4.00	0.184	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	1.584	1%	0.296	$\frac{1}{8}$	2%	$\frac{1}{8}$	—	
C 3× 6	1.76	3.00	0.356	$\frac{3}{8}$	$\frac{3}{8}$	1.596	1%	0.273	$\frac{1}{4}$	1%	$\frac{1}{8}$	—	
× 5	1.47	3.00	0.258	$\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$	1.498	1%	0.273	$\frac{1}{4}$	1%	$\frac{1}{8}$	—	
× 4.1	1.21	3.00	0.170	$\frac{3}{8}$	$\frac{1}{4}$	1.410	1%	0.273	$\frac{1}{4}$	1%	$\frac{1}{8}$	—	

Anexo 7. Fórmulas de electricidad

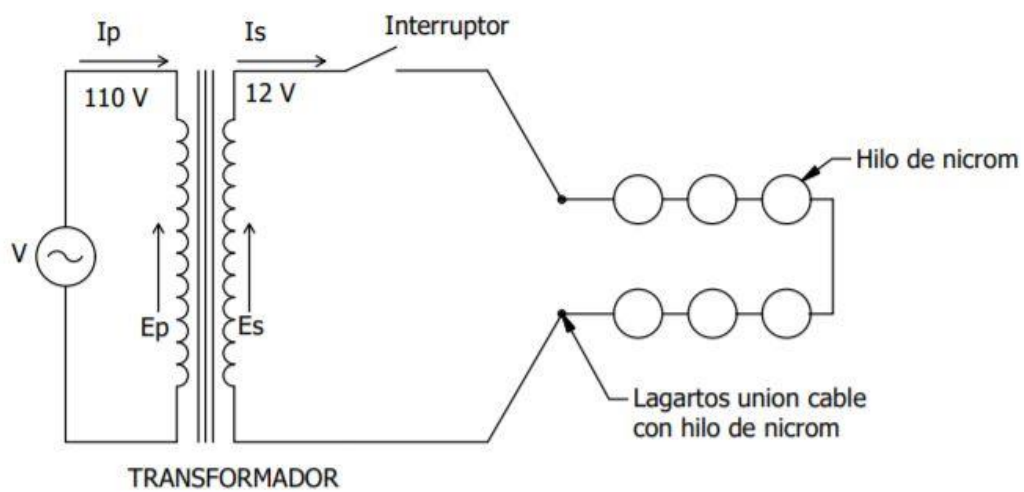
LEY DE OHM	
$I = \frac{V}{R}$	<p>Intensidad es igual a la tensión partida por la resistencia.</p> <p>Donde: I es la intensidad en amperios (A)</p> <p>V es la tensión en voltios (V)</p> <p>R es la resistencia en ohmios (Ω)</p>

CÁLCULO DE LA POTENCIA	
$P = \frac{V^2}{R}$ $P = I^2 \times R$ $P = V \times I$	<p>Las tres formulas básicas, para calcular la potencia de una resistencia.</p> <p>Donde: P es la potencia en vatios (W)</p> <p>V es la tensión en voltios (V)</p> <p>I es la intensidad en amperios (A)</p> <p>R es la resistencia en ohmios (Ω)</p>

Anexo 8. Tabla de calibre de conductor eléctrico

AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

Anexo 9. Esquema Eléctrico, Corte por hilo de nicrom con transformador de 12 V.



PLANOS